



TUGAS AKHIR – RC14-1501

**PERENCANAAN *SOLDIER PILE* UNTUK PERKUATAN  
LERENG JALAN TOL GEMPOL – PANDAAN  
STA. 6+518 s/d 6+575**

BENNY RENATO SIANIPAR  
NRP 3113 106 043

Dosen Pembimbing I  
Ir. Suwarno, M.Eng

Dosen Pembimbing II  
Prof. Ir. Indrasurya B Mochtar, M.Sc. Ph.D

JURUSAN TEKNIK SIPIL  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2016



TUGAS AKHIR – RC14-1501

**SOLDIER PILE PLANNING FOR SLOPE  
REINFORCEMENT OF GEMPOL – PANDAAN TOLL  
ROAD AT STA. 6+518 TO 6+575**

BENNY RENATO SIANIPAR  
NRP 3113 106 043

Supervisor I  
Ir. Suwarno, M.Eng

Supervisor II  
Prof. Ir. Indrasurya B Mochtar, M.Sc. Ph.D

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING  
Faculty of Civil Engineering and Planning  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2016

**PERENCANAAN *SOLDIER PILE* UNTUK PERKUATAN  
LERENG JALAN TOL GEMPOL - PANDAAN  
STA. 6+518 s/d 6+575**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**

**pada**

**Bidang Studi Geoteknik**

**Program Studi S-1 Lintas Jalur Jurusan Teknik Sipil**

**Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan**

**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Oleh :**

**BENNY RENATO SIANIPAR**

**Nrp. 3113 106 043**

**Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir**

**1. Ir. Suwarno, M.Eng**

**(Pembimbing I)**

**2. Prof.Ir. Indrasurya B.M. MSc. PhD**

**(Pembimbing II)**



**SURABAYA  
JANUARI, 2016**

**PERENCANAAN *SOLDIER PILE* UNTUK  
PERKUATAN LERENG  
JALAN TOL GEMPOL – PANDAAN  
STA. 6+518 s/d 6+575**

**Nama Mahasiswa** : Benny Renato Sianipar  
**NRP** : 3113106043  
**Jurusan** : Teknik Sipil FTSP - ITS  
**Dosen Pembimbing** : Ir. Suwarno, M.Eng  
Prof. Ir. Indrasurya BM, MSc, PhD

**Abstrak**

Untuk meningkatkan efisiensi perindustrian suatu perekonomian terutama di provinsi Jawa Timur, pemerintah mempunyai program yaitu pembangunan Jalan Tol Gempol-Pandaan. Jalan Tol Gempol - Pandaan terbentang sepanjang 13,15 kilometer merupakan bagian dari jalan tol yang menghubungkan Surabaya – Pasuruan – Malang, Jawa Timur.

Dalam proses pembangunannya terdapat beberapa kendala, salah satunya keterbatasan lahan yang pada sta. 6+518 s/d 6+575. Disana terdapat pabrik kaca yang mengganggu kestabilan lereng pada tepi jalan tol tepat di bawah pabrik sehingga tidak dapat dibuat sesuai dengan yang direncanakan.

Apabila dilakukan pembebasan lahan terhadap pabrik kaca tersebut akan membutuhkan biaya yang sangat besar, sehingga harus dilakukan rekayasa geoteknik untuk menjaga kestabilan lereng pada tepi jalan tol.

Dari evaluasi awal dengan melihat kondisi aktual di lapangan, dipilih alternatif yang memungkinkan untuk direncanakan. Alternatif yang dipilih adalah alternatif soldier pile dan kombinasi soldier pile dengan ground anchor untuk perkuatan lereng.

Tugas Akhir ini membahas tentang bagaimana perencanaan soldier pile untuk perkuatan lereng jalan tol Gempol-Pandaan Sta. 6+518 s/d 6+575 dan memilih perencanaan terbaik dari alternatif perencanaan yang ada dibandingkan dari segi biaya. Tugas Akhir ini juga membahas juga perencanaan subdrain di belakang lereng untuk menjaga agar lereng tetap dalam kondisi kering.

***Kata kunci: Lereng, Soldier Pile, Ground Anchor.***



# **SOLDIER PILE PLANNING FOR SLOPE REINFORCEMENT OF GEMPOL - PANDAAN TOLL ROAD AT STA. 6+518 TO 6+575**

**Student Name** : Benny Renato Sianipar  
**Stdent Number (NRP)** : 3113106043  
**Department** : Teknik Sipil FTSP - ITS  
**Supervisor** : Ir. Suwarno, M.Eng  
Prof. Ir. Indrasurya BM, MSc, PhD

## **Abstract**

In order to alleviate the industrial as well as economic development of West Java Province, Government of West Java has been initiated to develop the construction of Gempol – Pandaan toll road with its length spanned about 13.15 kilometres which connecting cities among Surabaya, Pasuruan and, Malang

In this construction process, several objections have been encountered, one of it would be the space limitation for road construction ranging from STA 6+518 to 6+575. Glasses Manufacturing Company exists there as it distracts the slope stability located at the corner of road which leads to problems as this such construction could not be built as planned.

If the land acquisition be undertaken on that such location, It would cause large amount of costs, so that, the geotechnical engineering approach should be undertaken in order to maintain the slope stability at the side end of the toll road.

Considering the initial evaluation with observing the actual condition in field, the possible and affordable plan is being chosen. The alternative plan which has been chosen would be soldier pile as well as soldier pile – ground anchor combined for the slope reinforcement.

This research would be elaborating the soldier pile planning for slope reinforcement of Gempol-Pandaan toll road Sta. 6+518 to 6+575 and analyze the best options in terms of cost which would be spent. This research would also elaborate the subdrain at the backside of slope in order to maintain the “dry” condition of slope.

***Keywords: Slope, Soldier Pile, Ground Anchor.***

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis ucapkan atas kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **Perencanaan Soldier Pile untuk perkuatan Lereng Jalan Tol Gempol – Pandaan STA. 6+518 s/d 6+575.**

Pada kesempatan kali ini penulis ingin mengucapkan terima kasih dan penghargaan kepada :

1. Ir. Suwarno, M.Eng dan Prof. Ir. Indrasurya BM, Msc, PhD selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan bimbingan dan arahan dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
2. Prof. Dr. Ir. Triwulan, DEA selaku dosen wali.
3. Tri Joko Wahyu Adi, ST., MT selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS.
4. Seluruh dosen pengajar dan staf Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS, terima kasih atas ilmu yang telah diberikan.
5. Kedua Orangtua saya serta kakak adik saya yang selalu mendukung dan mendoakan saya.
6. Teman-teman mahasiswa/i Jurusan Teknik Sipil FTSP Lintas Jalur ITS yang bersedia memberikan masukan dan dukungan.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan Tugas Akhir ini. Akhir kata semoga Tugas Akhir ini bermanfaat.

Surabaya, Januari 2016

Penulis



## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b>	
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b>	
<b>ABSTRAK</b>	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>ix</b>
<b>KATA PENGANTAR</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR ISI</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b>	<b>xix</b>

### **BAB I PENDAHULUAN**

1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah	5
1.4 Tujuan Tugas Akhir	5
1.5 Manfaat Tugas Akhir	5

### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

2.1 Analisa Stabilitas Lereng	7
2.2 Penyelidikan Tanah di Lapangan	8
2.2.1 Cone Penetration Test (uji sondir)	9
2.2.2 Uji Penetrasi Standard (SPT)	10
2.3 Perhitungan Stabilitas dengan Program Bantu X-Stabl	12
2.4 Tekanan Tanah Lateral	13
2.4.1 Tekanan Tanah Aktif ( $K_a$ ) Menurut Rankine	14
2.4.2 Tekanan Tanah Pasif ( $K_p$ ) Menurut Rankine	18
2.4.3 Tekanan Tanah Diam ( $K_0$ )	22
2.5 Dinding Penahan Tanah	23
2.6 Turap	25
2.6.1 Jenis dan Fungsi Turap	25
2.6.2 Jenis dan Metode Konstruksi Turap	26
2.6.3 Turap <i>Cantilever</i>	28
2.7 Konsep Penggunaan Cerucuk untuk Meningkatkan	

Daya Dukung Tanah .....	31
2.8 Perencanaan <i>Soldier Pile</i> .....	38
2.9 Metode Perkuatan dengan <i>Ground Anchor</i> .....	39
2.10 Saluran Bawah Permukaan pada Lereng .....	40

### **BAB III METODOLOGI**

3.1 Studi Pustaka .....	41
3.2 Pengumpulan Data .....	41
3.3 Analisa Data Tanah .....	42
3.4 Analisa Stabilitas Lereng .....	42
3.5 Menentukan Koefisien Tekanan Tanah Lateral dan Menghitung Tekanan Tanah Lateral .....	42
3.6 Perhitungan Alternatif Perkuatan Lereng .....	42
3.7 Menghitung Biaya Bahan dari Alternatif Perkuatan Lereng .....	42
3.8 Merencanakan Saluran Bawah Permukaan ( <i>subdrain</i> ) .....	43
3.9 Bagan Alir .....	43

### **BAB IV ANALISA DATA TANAH**

4.1 Data Tanah .....	45
4.1.1 Lokasi Data Tanah .....	45
4.1.2 Penyelidikan Lapisan Tanah .....	45
4.2 Analisa Stabilitas Lereng .....	47
4.2.1 Analisa Data Tanah .....	47
4.2.1.1 Data Tanah Asli .....	47
4.2.1.2 Data Tanah <i>Behaving Like Sand</i> .....	48
4.2.2 Pemodelan Lereng dalam X-Stabl .....	49

### **BAB V PERENCANAAN**

5.1 Umum .....	53
5.2 Analisa Stabilitas Lereng .....	53
5.2.1 Data Tanah <i>Behaving Like Sand</i> .....	53
5.2.2 Bidang Longsor Lereng .....	55
5.2.3 Model Geometri <i>Soldier Pile</i> .....	57
5.3 Perencanaan <i>Soldier Pile</i> tanpa <i>Ground Anchor</i> .....	57

5.4 Perencanaan <i>Soldier Pile</i> dengan <i>Ground Anchor</i> .....	69
5.5 Perencanaan <i>Subdrain</i> pada Lereng .....	86
5.6 Perhitungan Biaya dari Alternatif Perkuatan Lereng .....	86

## **BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN**

KESIMPULAN .....	89
SARAN .....	89

<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>91</b>
-----------------------------	-----------

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Lokasi Proyek .....	3
Gambar 1.2 Potongan melintang lereng .....	3
Gambar 1.3 Bor Log dan SPT .....	4
Gambar 2.1 Letak $\tau_d$ dan $\tau_f$ .....	8
Gambar 2.2 Jenis tekanan tanah berdasarkan arah pergerakan dinding.....	13
Gambar 2.3 Tekanan tanah aktif .....	14
Gambar 2.4 Lingkaran Mohr tekanan Aktif.....	15
Gambar 2.5 Resultan tekanan tanah aktif.....	17
Gambar 2.6 Contoh dinding penahan tanah dengan permukaan atas yang meningkat elevasinya .....	18
Gambar 2.7 Tekanan tanah pasif.....	19
Gambar 2.8 Lingkaran Mohr tekanan pasif.....	19
Gambar 2.9 Resultan tekanan tanah pasif .....	21
Gambar 2.10 Kasus permukaan atas yang meningkat elevasinya .....	22
Gambar 2.11 <i>Gravity Wall</i> .....	24
Gambar 2.12 <i>Sheet Pile Wall</i> .....	24
Gambar 2.13 <i>Mechabically Stabilized Earth</i> .....	25
Gambar 2.14 Contoh dinding turap: (a) turap di air (b) braced cut.....	26
Gambar 2.15 Langkah-langkah konstruksi untuk struktur urugan .....	27
Gambar 2.16 Langkah-langkah konstruksi untuk struktur galian.....	28
Gambar 2.17 Tiang turap cantilever tertanam pada pasir.....	29
Gambar 2.18 Tiang turap cantilever tertanam pada pasir: (a) variasi diagram tekanan bersih (b) variasi momen .....	30
Gambar 2.19 Tiang cantilever tertanam pada lapisan lempung.....	31
Gambar 2.20 Asumsi gaya yang diterima cerucuk.....	32
Gambar 2.21 Mencari harga $f$ untuk berbagai jenis tanah.....	34



Gambar 2.22 Grafik untuk menentukan besarnya FM (NAVFAC DM-7, 1971) .....	36
Gambar 2.23 <i>Soldier Pile Wall</i> .....	38
Gambar 2.24 <i>Soldier Pile</i> dengan <i>ground anchor</i> .....	39
Gambar 2.19 Perencanaan <i>ground anchor</i> .....	40
Gambar 2.20 Saluran bawah permukaan pada lereng .....	40
Gambar 3.1 Diagram alir Tugas Akhir.....	44
Gambar 4.1 Lokasi perencanaan penguatan lereng .....	45
Gambar 4.2 Potongan melintang lereng .....	46
Gambar 4.3 Lapisan tanah dari hasil Bor dan grafik SPT .....	46
Gambar 4.4 Geometri Lereng.....	49
Gambar 4.5 SF minimum dengan data tanah asli.....	50
Gambar 4.6 SF minimum dengan data tanah <i>behaving like sand</i> .....	50
Gambar 5.1 Bidang longsor lereng yang diperoleh dari hasil X-Stable .....	55
Gambar 5.2 Bidang longsor lereng dengan SF kritis dan $SF = 1$ .....	56
Gambar 5.3 Model geometri <i>soldier pile</i> .....	57
Gambar 5.4 Diagram tekanan tanah lateral .....	61
Gambar 5.5 Diagram interaksi penulangan .....	63
Gambar 5.6 Deformasi <i>soldier pile</i> tanpa <i>ground anchor</i> .....	68
Gambar 5.7 Gaya-gaya yang terjadi pada <i>bored pile</i> .....	73
Gambar 5.8 Perencanaan <i>ground anchor</i> .....	78
Gambar 5.9 Diagram interaksi penulangan .....	79
Gambar 5.10 Gaya yang terjadi akibat <i>ground anchor</i> .....	84
Gambar 5.11 Deformasi <i>soldier pile</i> dengan <i>ground anchor</i> .....	85
Gambar 5.12 Rencana <i>subdrain</i> .....	86



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Konsistensi tanah (untuk tanah dominan lanau dan lempung) .....	11
Tabel 2.2 Pedoman memprakirakan harga $\phi$ dari harga NSPT untuk tanah dominan pasir (dari Teng, 1962) .....	12
Tabel 4.1 Data Tanah Asli .....	47
Tabel 4.2 Data Tanah <i>Behaving Like Sand</i> .....	48
Tabel 4.3 Nilai SF min berdasarkan variasi kedalaman muka air tanah menggunakan data tanah asli .....	51
Tabel 4.4 Nilai SF min berdasarkan variasi kedalaman muka air tanah menggunakan data tanah <i>behaving like sand</i> .....	51
Tabel 5.1 Hasil analisa data X-Stable terhadap tanah <i>behaving like sand</i> .....	53
Tabel 5.2 Harga pekerjaan <i>bored pile</i> tanpa <i>ground anchor</i> .....	87
Tabel 5.3 Harga pekerjaan <i>bored pile</i> dengan <i>ground anchor</i> ....	88



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang Masalah**

Jalan tol merupakan salah satu sarana vital yang diperlukan untuk meningkatkan efisiensi perindustrian suatu perekonomian. Belakangan ini, kebutuhan akan jalan tol di seluruh wilayah yang pertumbuhan pembangunannya cukup pesat, menjadi semakin meningkat, termasuk Surabaya sebagai ibukota Provinsi Jawa Timur dan merupakan kota terbesar kedua di Indonesia setelah Jakarta, memerlukan penyediaan aksesibilitas yang tinggi dengan kota-kota lain dalam wilayah Jawa Timur. Berdasarkan hal tersebut, pemerintah memutuskan untuk membangun jalan baru, berupa sistem jalan tol yang terdiri atas 4 (empat) jalur koridor utama dari Surabaya, yaitu:

1. Jalan Tol Surabaya-Gresik, untuk koridor Barat-Laut
2. Jalan Tol Surabaya-Mojokerto, untuk koridor Barat-Daya
3. Jembatan Tol Surabaya-Madura, untuk koridor Utara
4. Jalan Tol Surabaya-Malang, untuk koridor Selatan

Pada koridor Selatan, Surabaya-Malang, akan dibangun pula jalan tol ke arah timur yang dimulai dari antara Gempol dan Pandaan. Jalan Tol Gempol - Pandaan terbentang sepanjang 13,15 kilometer merupakan bagian dari jalan tol yang menghubungkan Surabaya – Pasuruan – Malang, Jawa Timur.

Dalam proses pembangunannya terdapat beberapa kendala, salah satunya keterbatasan lahan yang terletak pada sta. 6+518 s/d 6+575. Disana terdapat pabrik kaca yang mengakibatkan terganggunya stabilitas lereng pada tepi jalan tol tepat di bawah pabrik.

Apabila dilakukan pembebasan lahan terhadap pabrik kaca tersebut akan membutuhkan biaya yang sangat besar, sehingga untuk menghindari pembebasan lahan yang

membutuhkan biaya besar, dilakukan rekayasa geoteknik untuk memperkuat lereng pada sta. 6+518 s/d 6+575.

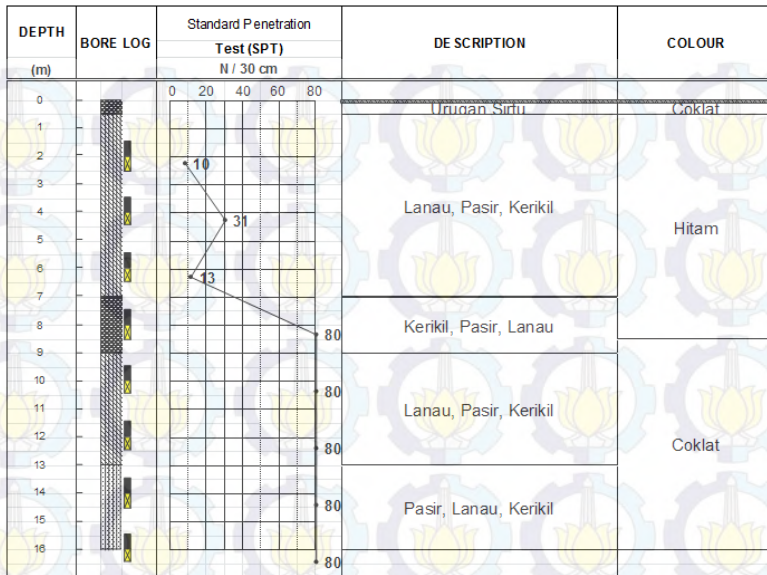
Ada banyak alternatif perkuatan lereng, tetapi dari evaluasi awal dengan melihat kondisi aktual di lapangan, dipilih sistem *soldier pile* dan kombinasi *soldier pile* dengan *ground anchor* sebagai alternatif perkuatan lereng pada jalan tol Gempol-Pandaan sta. 6+518 s/d 6+575 ini.

Tugas Akhir ini membahas tentang bagaimana perencanaan *soldier pile* untuk perkuatan lereng jalan tol Gempol-Pandaan Sta. 6+518 s/d 6+575 dan memilih perencanaan terbaik dari alternatif perencanaan yang ada dibandingkan dari segi biaya. Tugas Akhir ini juga membahas juga perencanaan *subdrain* di belakang lereng untuk menjaga agar lereng tetap dalam kondisi kering. Lokasi proyek dapat dilihat pada Gambar 1.1, Gambar 1.2 adalah gambar potongan melintang dari lereng yang akan diberi perkuatan, serta Gambar 1.3 adalah bor log dan SPT.









Gambar 1.3. Bor Log dan SPT

## 1.2 Rumusan Masalah

Secara umum berdasarkan latar belakang diatas, terdapat beberapa masalah yang harus dibahas :

1. Bagaimana merencanakan *soldier pile* di beberapa segmen jalan tol Gempol - Pandaan Sta. 6+518 s/d 6+575?
2. Di potongan yang *soldier pile* tinggi perlukah menggunakan *ground anchor*?
3. Bila pakai *ground anchor*, bagaimana perbandingan biayanya?
4. Bagaimana perencanaan *subdrain* di belakang *soldier pile* sehingga saat pelaksanaan tidak memperhitungkan pengaruh hujan.

### 1.3 Batasan Masalah

Pada Tugas Akhir ini, permasalahan dibatasi pada pokok-pokok pembahasan sebagai berikut:

1. Alternatif perkuatan lereng hanya menggunakan soldier pile dengan/tanpa angkur.
2. Perkuatan lereng yang direncanakan hanya pada sta. 6+518 s/d 6+575 dimana terdapat pabrik kaca.
3. Merencanakan saluran bawah permukaan (*subdrain*) di belakang lereng.
4. Tidak membahas perhitungan bangunan jalan.
5. Tidak membahas metode pelaksanaan.

### 1.4 Tujuan Tugas Akhir

Tujuan dari Tugas Akhir ini adalah untuk mengetahui perencanaan *soldier pile* untuk perkuatan lereng dan perencanaan *subdrain* di belakang lereng pada jalan tol Gempol - Pandaan sta. 6+518 s/d 6+575.

### 1.5 Manfaat Tugas Akhir

Adapun manfaat dari Tugas Akhir ini adalah untuk dapat mengetahui alternatif terbaik yang digunakan sebagai metode perkuatan lereng sesuai dengan kondisi lapangan.



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Analisa Stabilitas Lereng

Lereng adalah suatu permukaan tanah yang miring dan membentuk sudut tertentu terhadap suatu bidang horizontal dan tidak terlindungi (Das 1985). Analisis stabilitas lereng merupakan suatu analisis guna memeriksa keamanan lereng alamiah, lereng galian maupun lereng timbunan. Untuk menganalisa kestabilan lereng, perlu terlebih dahulu diketahui sistem tegangan yang bekerja pada tanah atau batuan serta sifat fisik dan mekanik dari tanah atau batuan tersebut. Tegangan di dalam massa batuan dalam keadaan alamiahnya adalah tegangan vertikal, tegangan horizontal, dan tekanan air pori. Sedangkan sifat mekanik yang mempengaruhi kestabilan suatu lereng adalah kohesi, sudut geser dalam, dan bobot isi. Secara prinsipnya, pada suatu lereng berlaku dua macam gaya yaitu gaya yang membuat massa batuan bergerak (gaya penggerak) dan gaya yang menahan massa batuan bergerak (gaya penahan). Suatu lereng akan longsor jika gaya penggerak lebih besar dari gaya penahannya. Secara matematis, kestabilan suatu lereng dapat dinyatakan dalam bentuk faktor keamanan (FK), dimana:

$$F_k = \frac{\tau_f}{\tau_d} \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan :

$F_k$  = angka keamanan

$\tau_f$  = kekuatan tanah untuk menahan kelongsoran

$\tau_d$  = gaya dorong yang bekerja sepanjang bidang longsor

Kekuatan geser tanah terdiri dari dua komponen, yaitu kohesi dan sudut geser tanah, yang dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\tau_f = c + \sigma \tan \emptyset \dots\dots\dots (2.2)$$

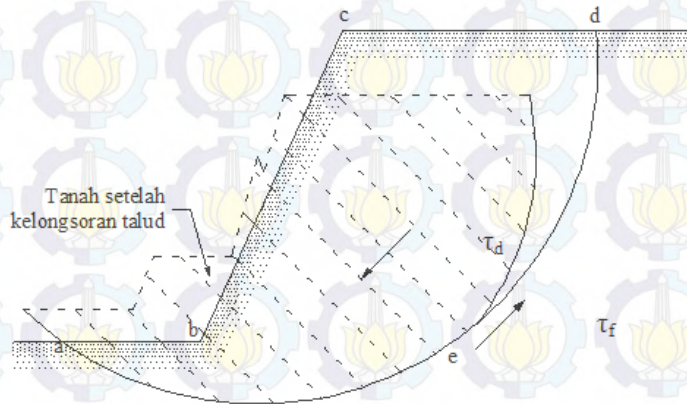


Keterangan :

$c$  = kohesi

$\phi$  = sudut geser tanah

$\sigma$  = tegangan normal rata-rata pada permukaan bidang longsor



Gambar 2.1 Letak  $\tau_d$  dan  $\tau_f$

Dengan cara yang sama, dapat juga dituliskan :

$$\tau_d = c_d + \sigma \tan \phi_d \dots \dots \dots (2.3)$$

Keterangan :

$c_d$  = kohesi

$\phi_d$  = sudut geser yang bekerja sepanjang bidang longsor

## 2.2 Penyelidikan Tanah di Lapangan

Jenis-jenis tanah tertentu sangat mudah sekali terganggu oleh pengaruh pengambilan contohnya di dalam tanah. Untuk menanggulangi hal tersebut, sering dilakukan beberapa pengujian di lapangan secara langsung. Pengujian di lapangan sangat berguna untuk mengetahui karakteristik tanah dalam mendukung beban pondasi dengan tidak dipengaruhi oleh kerusakan contoh tanah akibat operasi



pengeboran dan penanganan contoh (Hardiyatmo, 2010a). Oleh karena itu diusahakan melakukan penyelidikan tanah di lapangan (*in-situ test*). Pengujian di lapangan yang akan dilakukan adalah:

- Cone Penetration Test (Sondir)
- Standard Penetration test (SPT)

### 2.2.1 Cone Penetration Test (uji sondir)

Uji sondir atau dikenal dengan uji penetrasi kerucut statis banyak digunakan di Indonesia. Pengujian ini merupakan suatu pengujian yang digunakan untuk menghitung kapasitas dukung tanah. Nilai-nilai tahanan kerucut statis atau hambatan konus ( $qc$ ) yang diperoleh dari pengujian dapat langsung dikorelasikan dengan kapasitas dukung tanah (Hardiyatmo, 2010b). Pada uji sondir, terjadi perubahan yang kompleks dari tegangan tanah saat penetrasi sehingga hal ini mempersulit interpretasi secara teoritis. Dengan demikian meskipun secara teoritis interpretasi hasil uji sondir telah ada, dalam prakteknya uji sondir tetap bersifat empiris (Rahardjo, 2008).

Keuntungan uji sondir (Rahardjo, 2008) :

1. Cukup ekonomis dan cepat.
2. Dapat dilakukan ulang dengan hasil yang relatif hampir sama.
3. Korelasi empirik yang terbukti semakin andal.
4. Perkembangan yang semakin meningkat khususnya dengan adanya penambahan sensor pada sondir listrik.

- Hambatan Konus ( $qc$ )

Nilai yang penting diukur dari uji sondir adalah hambatan ujung konus ( $qc$ ). Besarnya nilai ini seringkali menunjukkan identifikasi dari jenis tanah dan konsistensinya. Pada tanah pasir, hambatan

ujung jauh lebih besar dari tanah berbutir halus. Pada pasir padat (*dense*) dan sangat padat (*very dense*), sondir ringan umumnya tidak dapat menembus lapisan ini. Schmertman, (1978) dalam Rahardjo, (2008) memberikan petunjuk sederhana untuk menginterpretasi data sondir untuk keperluan klasifikasi dan kondisi tanah.

- Gesekan Selimut ( $f_s$ )

Nilai  $f_s$  dapat menggambarkan klasifikasi tanah. Selain itu rasio  $f_s$  dan  $q_c$  yang dikenal dengan nama rasio gesekan ( $R_f$ ) dapat digunakan untuk membedakan tanah berbutir halus dan tanah berbutir kasar (Rahardjo, 2008). Dari beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa tanah berbutir kasar mempunyai nilai  $R_f$  yang kecil ( $<2\%$ ), sementara untuk tanah berbutir halus (lanau dan lempung) nilai  $R_f$  lebih tinggi.

### 2.2.2 Uji Penetrasi Standar (SPT)

Suatu metode uji yang dilaksanakan bersamaan dengan pengeboran untuk mengetahui, baik perlawanan dinamik tanah maupun pengambilan contoh terganggu dengan teknik penumbukan. Uji *SPT* terdiri atas uji pemukulan tabung belah dinding tebal ke dalam tanah, disertai pengukuran jumlah pukulan untuk memasukkan tabung belah sedalam 300 mm vertikal. Dalam sistem beban jatuh ini digunakan palu dengan berat 63,5 kg, yang dijatuhkan secara berulang dengan tinggi jatuh 0,76 m. Pelaksanaan pengujian dibagi dalam tiga tahap, yaitu berturut-turut setebal 150 mm untuk masing-masing tahap. Tahap pertama dicatat sebagai dudukan, sementara jumlah pukulan untuk memasukkan tahap ke-dua dan ke-tiga dijumlahkan untuk memperoleh nilai pukulan  $N$  atau perlawanan *SPT* (dinyatakan dalam pukulan/0,3 m).

Tabel 2.1 dibawah ini menunjukkan Konsistensi tanah (untuk tanah dominan lanau dan lempung) dan Tabel 2.2 adalah pedoman memprakirakan harga  $\phi$  dari harga  $N_{SPT}$  untuk tanah dominan pasir (dari Teng, 1962)

Tabel 2.1 Konsistensi tanah (untuk tanah dominan lanau dan lempung).

Konsistensi tanah	Taksiran harga kekuatan geser undrained, $C_u$		Taksiran harga SPT, harga N	Taksiran harga tahanan conus, $q_c$ (dari Sondir)	
	kPa	ton/ m <sup>2</sup>		kg/cm <sup>2</sup>	kPa
Sangat lunak (very soft)	0 – 12.5	0 – 1.25	0 – 2.5	0 – 10	0 – 1000
Lunak (soft)	12.5 – 25	1.25 – 2.5	2.5 – 5	10 – 20	1000 – 2000
Menengah (medium)	25 – 50	2.5 – 5.	5 – 10	20 – 40	2000 – 4000
Kaku (stiff)	50 – 100	5.0 – 10.	10 – 20	40 – 75	4000 – 7500
Sangat kaku (very stiff)	100 – 200	10. – 20.	20 – 40	75 – 150	7500 – 15000
Keras (hard)	> 200	> 20.	> 40	> 150	> 15000

Sumber : Mochtar (2006), revised (2012)



Tabel 2.2 Pedoman memprakirakan harga  $\phi$  dari harga  $N_{SPT}$ .  
untuk tanah dominan pasir (dari Teng, 1962).

Kondisi kepadatan	Relative Density (kepadatan relatif) $R_d$	Perkiraan Harga $N_{SPT}$	Perkiraan harga $\phi$ ( $^\circ$ )	Perkiraan berat volume jenuh, $\gamma_{sat}$ ( $\text{ton/m}^3$ )
very loose (sangat renggang)	0 % s/d 15 %	0 s/d 4	0 s/d 28	< 1.60
loose (renggang)	15 % s/d 35 %	4 s/d 10	28 s/d 30	1.50 – 2.0
medium (menengah)	35% s/d 65 %	10 s/d 30	30 s/d 36	1.75 – 2.10
dense (rapat)	65% s/d 85 %	30 s/d 50	36 s/d 41	1.75 – 2.25
very dense (sangat rapat)	85% s/d 100 %	> 50	41*	

\* perkiraan oleh Mochtar (2009)

### 2.3 Perhitungan Stabilitas dengan Program Bantu X-Stabl

X-Stabl adalah sebuah program komputer yang digunakan untuk menganalisis stabilitas sebuah talud (bidang miring). Analisis dilakukan dengan memodelkan minimum 100 bidang longsor yang kemudian didapat 10 bidang longsor kritis. Parameter tanah yang dibutuhkan pada program ini meliputi :  $\gamma_{sat}$ ,  $\gamma_t$ ,  $c'$ ,  $\phi$ , letak muka air tanah, dan

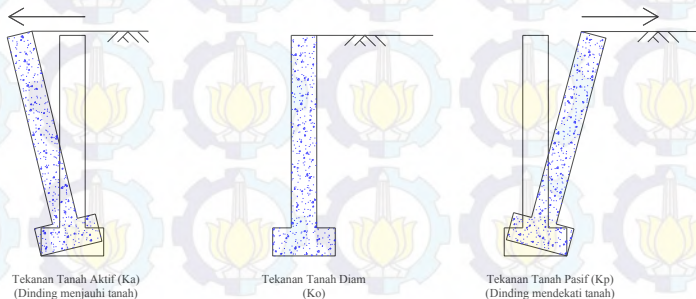
koordinat permukaan tanah yang akan ditinjau. Sedangkan output yang diperoleh dari program XSTABL adalah angka keamanan (SF), jari-jari bidang longsor, koordinat bidang longsor serta momen penahan dari tanah yang ditinjau.

## 2.4 Tekanan Tanah Lateral

Tekanan lateral tanah adalah tekanan oleh tanah pada bidang horizontal. Contoh aplikasi teori tekanan lateral adalah untuk desain-desain seperti dinding penahan tanah, dinding basement, terowongan, dll. Tekanan lateral tanah dapat dibagi menjadi 3 kategori, yaitu:

- Jika dinding tidak bergerak K menjadi koefisien tekanan tanah diam ( $K_0$ )
- Jika dinding bergerak menekan ke arah tanah hingga runtuh, koefisien K mencapai nilai maksimum yang dinamakan tekanan tanah pasif ( $K_p$ )
- Jika dinding menjauhi tanah, hingga terjadi keruntuhan, nilai K mencapai minimum yang dinamakan tekanan tanah aktif ( $K_a$ )

Gambar berikut ini mendeskripsikan tentang arah pergerakan dinding menurut tekanan lateral yang bekerja.



(Sumber: Weber, 2010)

Gambar 2.2 Jenis tekanan tanah berdasarkan arah pergerakan dinding.



Beberapa teori tentang tekanan tanah aktif dan pasif, serta tekanan tanah diam adalah teori Rankine dan Coulomb. Pada bab ini hanya akan dibahas teori Rankine. Adapun penjelasan mengenai teori Rankine tersebut adalah sebagai berikut:

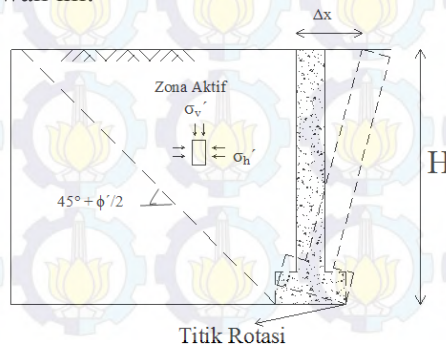
### Teori Rankine (1857)

Teori Rankine berasumsi bahwa:

- Tidak ada adhesi atau friksi antara dinding dengan tanah (friksi sangat kecil sehingga diabaikan).
- Tekanan lateral terbatas hanya untuk dinding vertikal  $90^\circ$ .
- Kelongsoran (pada urugan) terjadi sebagai akibat dari pergeseran tanah yang ditentukan oleh sudut geser tanah ( $\phi'$ ).
- Tekanan lateral bervariasi linier terhadap kedalaman dan resultan tekanan yang berada pada sepertiga tinggi dinding, diukur dari dasar dinding.
- Resultan gaya bersifat paralel terhadap permukaan urugan.

#### 2.4.1 Tekanan Tanah Aktif ( $K_a$ ) Menurut Rankine

Disebut tekanan tanah aktif jika tekanan yang bekerja mengakibatkan dinding menjauhi tanah yang ditahan, seperti ditunjukkan oleh gambar di bawah ini:



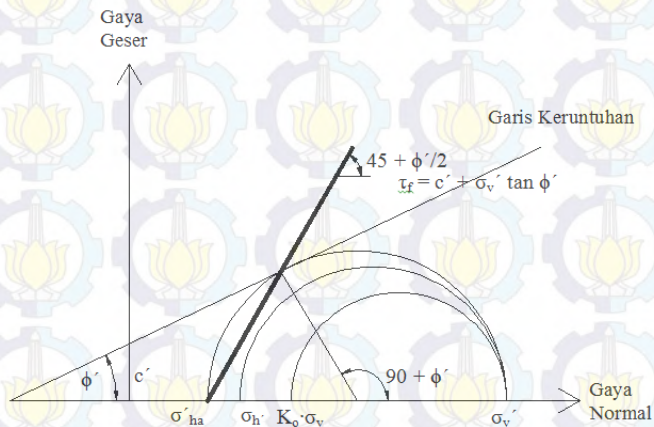
Gambar 2.3 Tekanan tanah aktif.

Keruntuhan tanah mengikuti prinsip lingkaran Mohr (Mohr-Coulomb). Jika pergerakan dinding membuat  $\Delta x$  semakin besar, maka pada akhirnya, lingkaran Mohr akan menyentuh garis keruntuhan (Menurut Rankine, sudut keruntuhan adalah sebesar  $45 + \frac{\phi'}{2}$ ), sehingga keruntuhan akan terjadi. Tahanan geser tanah mengikuti persamaan:

$$\tau_f = c' + \sigma_v' \tan \phi' \dots \dots \dots (2.4)$$

dimana:

- $\tau_f$  : tahanan geser tanah
- $\sigma_v'$  : tekanan efektif tanah
- $c'$  : kohesi tanah
- $\phi'$  : sudut geser tanah



Gambar 2.4 Lingkaran Mohr tekanan aktif.

Besar gaya-gaya yang bekerja mengikuti persamaan sebagai berikut:

$$\sigma_v' = \sigma_1$$

$$\sigma_h' = \sigma_3$$

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 \tan^2 \left( 45 + \frac{\phi'}{2} \right) + 2c' \tan \left( 45 + \frac{\phi'}{2} \right) \dots (2.5)$$

$$\sigma'_3 = \sigma'_1 \tan^2 \left( 45 - \frac{\phi'}{2} \right) - 2c' \tan \left( 45 - \frac{\phi'}{2} \right) \dots (2.6)$$

dimana:

$\sigma'_h$  : tekanan lateral tanah

$\sigma'_v$  : tekanan efektif tanah

$c'$  : kohesi tanah

$\phi'$  : sudut geser tanah

$K_a$  : koefisien tekanan tanah aktif,

$$K_a : \tan^2 \left( 45 - \frac{\phi'}{2} \right)$$

Karena  $K_a = \tan^2 \left( 45 - \frac{\phi'}{2} \right)$ , maka besar tekanan saat terjadi keruntuhan menggunakan persamaan yang dikenal dengan nama *Bell's Equation*, yaitu:

$$\sigma'_{ha} = \sigma'_v \cdot \tan^2 \left( 45 - \frac{\phi'}{2} \right) - 2c' \tan \left( 45 - \frac{\phi'}{2} \right)$$

$$\sigma'_{ha} = \sigma'_v \cdot K_a - 2c' \sqrt{K_a} \dots \dots \dots (2.7)$$

dimana:

$\sigma'_{ha}$  : tekanan lateral aktif

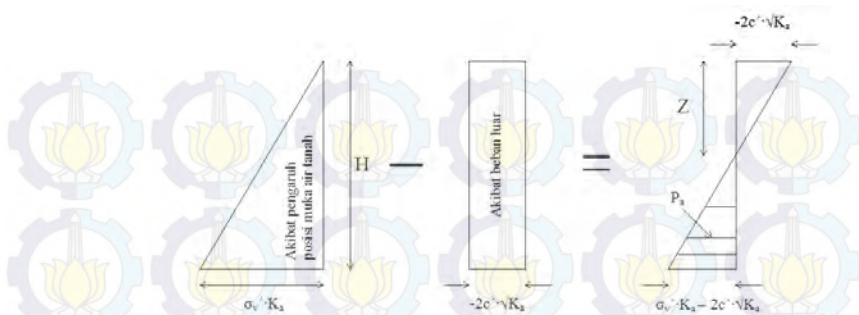
$\sigma'_v$  : tekanan efektif tanah

$c'$  : kohesi tanah

$\phi'$  : sudut geser tanah

$K_a$  : koefisien tekanan tanah aktif,  $K_a = \tan^2 \left( 45 - \frac{\phi'}{2} \right)$

Resultan tekanan aktif akibat beban luar dan pengaruh air dapat dideskripsikan oleh gambar berikut ini:



Gambar 2.5 Resultan tekanan tanah aktif.

Total tekanan tanah yang bekerja dirumuskan mengikuti:

$$P_a = 0,5 \gamma' \cdot H \cdot K_a - 2c' \cdot \sqrt{K_a} \dots \dots \dots (2.8)$$

dimana:

- $P_a$  : total tekanan tanah aktif
- $\sigma'_v$  : tekanan efektif tanah
- $c'$  : kohesi tanah
- $H$  : tinggi dinding penahan tanah
- $K_a$  : koefisien tekanan tanah aktif,
- $K_a$  :  $\tan^2 (45 - \frac{\phi'}{2})$

Jika permukaan tanah yang ditahan, pada permukaan atas elevasinya meningkat, maka rumus mencari  $K_a$  adalah sebagai berikut:

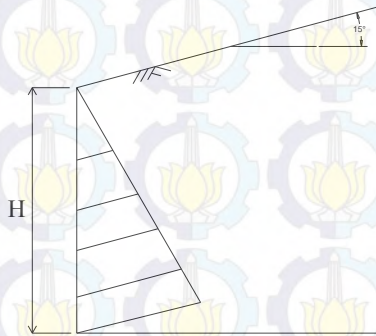
$$K_a = \cos \alpha \frac{\cos \alpha - \sqrt{\cos^2 \alpha - \cos^2 \phi'}}{\cos \alpha + \sqrt{\cos^2 \alpha - \cos^2 \phi'}} \dots \dots \dots (2.9)$$

dimana:

- $\phi'$  : sudut geser tanah
- $\alpha$  : sudut elevasi tanah di permukaan atas dinding
- $K_a$  : koefisien tekanan tanah aktif



$$K_a : \tan^2 \left( 45 - \frac{\phi'}{2} \right)$$



Gambar 2.6 Contoh dinding penahan tanah dengan permukaan atas yang meningkat elevasinya.

Total tekanan tanah yang bekerja dirumuskan mengikuti:

$$P_a = 0,5 \gamma \cdot H^2 \cdot K_a \dots\dots\dots (2.10)$$

dimana:

- $P_a$  : total tekanan tanah aktif
- $H$  : tinggi dinding penahan tanah
- $K_a$  : koefisien tekanan tanah aktif
- $K_a : \tan^2 \left( 45 - \frac{\phi'}{2} \right)$

#### 2.4.2 Tekanan Tanah Pasif ( $K_p$ ) Menurut Rankine

Disebut tekanan tanah pasif jika tekanan yang bekerja mengakibatkan dinding mendekati tanah yang ditahan.



Besar gaya-gaya pada gambar di atas adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \sigma'_v &= \sigma'_3 \\ \sigma'_h &= \sigma'_1 \\ \sigma'_1 &= \sigma'_3 \tan^2 \left( 45 + \frac{\phi'}{2} \right) + 2c' \tan \left( 45 + \frac{\phi'}{2} \right) \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (2.11)$$

dimana:

- $\sigma'_h$  : tekanan lateral tanah
- $\sigma'_v$  : tekanan efektif tanah
- $c'$  : kohesi tanah
- $\phi'$  : sudut geser tanah
- $K_p$  : koefisien tekanan tanah aktif,
- $K_p : \tan^2 \left( 45 + \frac{\phi'}{2} \right)$

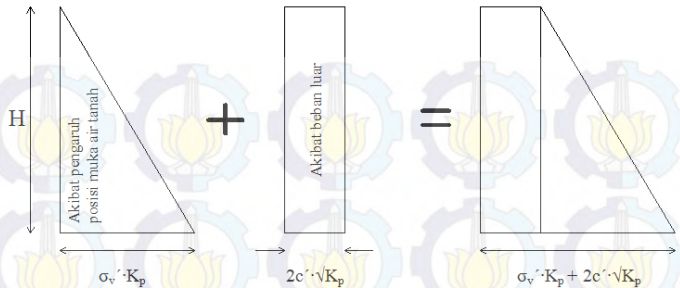
Karena  $K_p = \tan^2 (45 + \phi'/2)$ , maka besar tekanan lateral saat terjadi keruntuhan mengikuti persamaan:

$$\begin{aligned} \sigma'_{hp} &= \sigma'_v \cdot \tan^2 \left( 45 + \frac{\phi'}{2} \right) + 2c' \cdot \tan \left( 45 + \frac{\phi'}{2} \right) \\ \sigma'_{hp} &= \sigma'_v \cdot K_p + 2c' \sqrt{K_p} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (2.12)$$

dimana:

- $\sigma'_{hp}$  : tekanan lateral pasif
- $\sigma'_v$  : tekanan efektif tanah
- $c'$  : kohesi tanah
- $\phi'$  : sudut geser tanah
- $K_p$  : koefisien tekanan tanah aktif
- $K_p : \tan^2 \left( 45 + \frac{\phi'}{2} \right)$

Resultan tekanan pasif akibat beban luar dan pengaruh air dapat dideskripsikan sebagai berikut:



Gambar 2.9 Resultan tekanan tanah pasif.

Total tekanan tanah yang bekerja dirumuskan sebagai berikut:

$$P_p = 0,5 \gamma \cdot H \cdot K_a + 2c' \cdot \sqrt{K_a} \dots \dots \dots (2.13)$$

Jika permukaan tanah yang ditahan, pada permukaan atas elevasinya meningkat, maka rumus mencari  $K_p$  adalah:

$$K_p = \cos \alpha \frac{\cos \alpha + \sqrt{\cos^2 \alpha - \cos^2 \phi'}}{\cos \alpha - \sqrt{\cos^2 \alpha - \cos^2 \phi'}} \dots \dots \dots (2.14)$$

dimana:

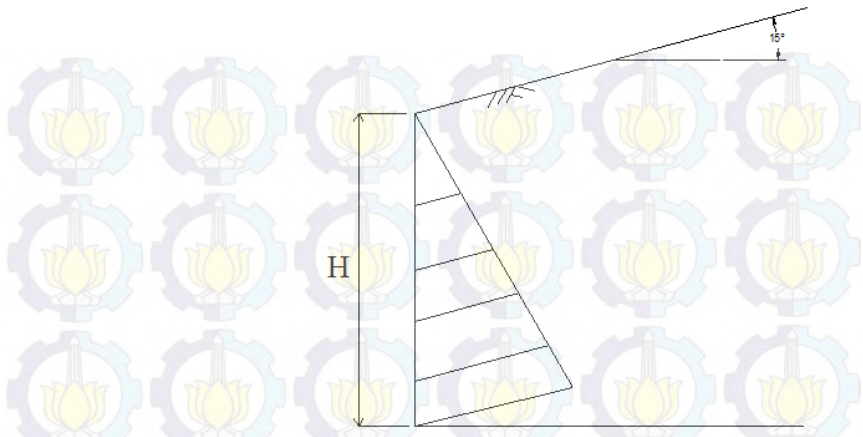
$\phi'$  : sudut geser tanah

$\alpha$  : elevasi tanah di permukaan atas dinding

$K_p$  : koefisien tekanan tanah aktif

$$K_p : \tan^2 \left( 45 + \frac{\phi'}{2} \right)$$





Gambar 2.10 Kasus permukaan atas yang meningkat elevasinya.

Total tekanan tanah yang bekerja dirumuskan mengikuti:

$$P_p = 0,5 \gamma \cdot H^2 \cdot K_p \dots \dots \dots (2.15)$$

dimana:

$P_a$  : total tekanan tanah pasif

$\alpha$  : sudut elevasi tanah di permukaan atas dinding

$K_p$  : koefisien tekanan tanah aktif

$K_p$  :  $\tan^2 \left( 45 + \frac{\phi'}{2} \right)$

#### 2.4.3 Tekanan Tanah Diam ( $K_0$ )

Untuk tanah berbutir, koefisien tekanan tanah dalam keadaan diam dapat diwakili oleh hubungan empiris yang diperkenalkan oleh Jaky (1944).

$$K_0 = 1 - \sin \phi \dots \dots \dots (2.16)$$

## 2.5 Dinding Penahan Tanah

Dinding penahan tanah adalah struktur yang didesain untuk menjaga dan mempertahankan dua muka elevasi tanah yang berbeda (Coduto, 2001). Dinding penahan tanah berfungsi untuk menyokong tanah serta mencegahnya dari bahaya kelongsoran baik akibat air hujan, berat tanah itu sendiri, maupun akibat beban yang bekerja di atasnya.

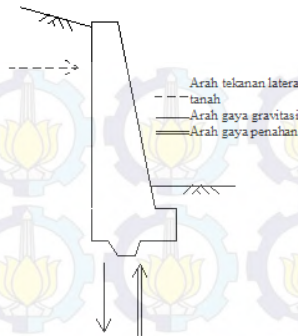
Jeni-jenis dinding penahan tanah bermacam-macam disesuaikan dengan keadaan lapangan dan aplikasi yang akan digunakan. Menurut O'Rourke dan Jones (1990) dinding penahan tanah dapat dibedakan atas 2 bagian yakni Sistem Stabilisasi Eksternal (*Externally Stabilized System*) yang terbagi atas *Gravity Walls* dan *In-Situ* atau *Embedded Walls* dan Sistem Stabilisasi Internal (*Internally Stabilized System*) yang terbagi atas *Reinforced Soil Walls* dan *In-Situ Reinforcement*.

Sistem stabilisasi eksternal merupakan sistem yang memanfaatkan berat dan kekakuan struktur; dan sistem stabilisasi internal yang memperkuat tanah untuk mencapai kestabilan yang dibutuhkan.

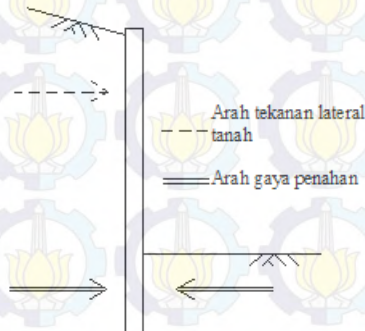
### a) Sistem Stabilisasi Eksternal

Sistem Stabilisasi Eksternal adalah sistem dinding penahan tanah yang menahan beban lateral dengan menggunakan berat dan kekakuan struktur. Sistem ini merupakan sistem satu - satunya yang ada sebelum tahun 1960, dan sampai saat ini digunakan.

Sistem ini terbagi menjadi dua kategori yaitu dinding gravitasi yang memanfaatkan masa yang besar sebagai dinding penahan tanah seperti pada Gambar 2.11 dan *In-situ wall* yang mengandalkan kekuatan lentur sebagai dinding penahan tanah misalnya *sheet pile wall* pada Gambar 2.12.



Gambar 2.11 Gravity Wall



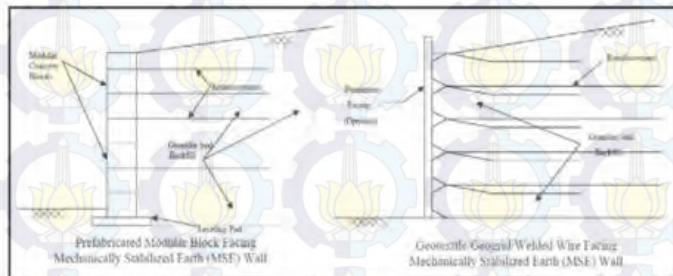
Gambar 2.12. Sheet Pile Wall

#### b) Sistem Stabilisasi Internal

Sistem stabilisasi internal merupakan sistem yang memperkuat tanah untuk mencapai kestabilan yang dibutuhkan. Sistem ini berkembang sejak tahun 1960 dan dibagi menjadi dua kategori yaitu *reinforced soils*; dan *in-situ reinforcement*.

*Reinforced soil* merupakan sistem yang menambah material kekuatan saat tanah diurug, sedangkan *in-situ reinforcement* merupakan sistem yang menambah

material perkuatan dengan cara dimasukkan ke dalam tanah.



Gambar 2.13 *Mechabically stabilized earth.*  
(Sumber : *Earth Retaining Structures Manual*, 2010)

## 2.6 Turap

Konstruksi turap adalah satu konstruksi yang banyak digunakan dalam rekayasa sipil, yang bisa berupa konstruksi sederhana hingga konstruksi sangat berat. Modul ini berisi uraian tentang jenis-jenis turap yang biasa digunakan dan perhitungan untuk perencanaan turap dalam jenis cantilever. Turap cantilever merupakan jenis turap yang paling sederhana dalam metode pelaksanaannya.

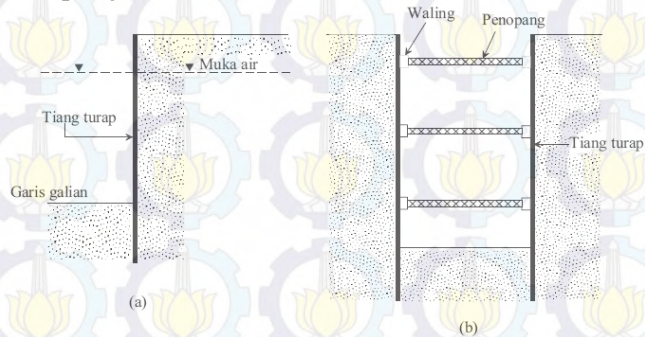
### 2.6.1 Jenis dan Fungsi Turap

Tiang-tiang turap (sheet piles) sering digunakan untuk membangun sebuah dinding yang berfungsi sebagai penahan tanah, yang bisa berupa konstruksi berskala besar maupun kecil. Sebagai contoh pada gambar 2.14, terlihat konstruksi dinding turap (sheet pile walls) yang mengarah ke pantai yang dapat berupa sebuah dermaga atau sebuah fasilitas dok kapal. Dinding turap, oleh karena fungsinya sebagai penahan tanah, maka konstruksi ini digolongkan juga sebagai jenis lain dari dinding penahan tanah (retaining walls). Perbedaan mendasar antara dinding



turap dan dinding penahan tanah terletak pada keuntungan penggunaan dinding turap pada kondisi tidak diperlukannya pengeringan air (dewatering).

Terdapat beberapa jenis tiang turap yang biasa digunakan: (a) tiang turap kayu, (b) tiang turap beton pracetak (precast concrete sheet piles), dan (c) tiang turap baja.



Gambar 2.14 Contoh dinding turap: (a) turap di air, (b) braced cut.

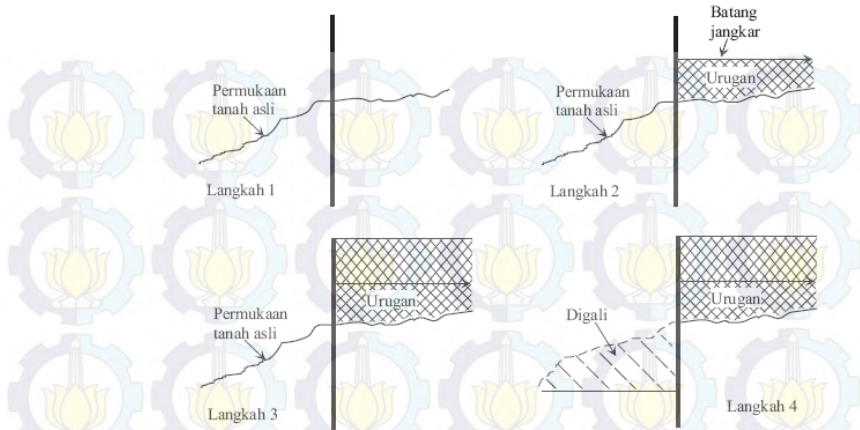
### 2.6.2 Jenis dan Metode Konstruksi Turap

Pada prinsipnya, perencanaan dinding turap dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu: (a) dinding *cantilever* (*cantilver walls*) dan (b) dinding berjangkar (*anchored walls*). Turap dengan dinding *cantilever*, sebagaimana dinyatakan dalam namanya adalah tiang yang ujungnya tertahan oleh tanah sehingga seolah-olah tergantung. Stabilitas turap jenis ini sangat tergantung pada panjang penanaman tiang. Sedangkan turap berjangkar, disamping ujungnya tertanam, di sekitar ujung lainnya dipasang jangkar yang akan memberikan gaya tarik melawan kecenderungan tiang turap terdorong ke arah yang berlawanan dengan tanah.

Dalam metode konstruksi tiang turap terdapat beberapa cara, yaitu pertama dengan meletakkannya di dalam tanah yang terlebih dahulu digali lalu kemudian diisi kembali dengan tanah isian, dan yang kedua dengan memancangkannya ke dalam tanah, kemudian tanah di depannya digali. Atau dalam hal konstruksi dermaga, tiang turap dipancangkan dalam air hingga mencapai tanah, kemudian tanah isian diberikan di belakangnya. Dalam banyak kasus tanah isian yang diletakkan di belakang dinding turap biasanya adalah tanah granular. Sementara tanah di bawah garis penggalian bisa tanah pasir atau lempung. Permukaan tanah pada sebelah dimana air berada biasanya diacu sebagai garis galian (*dredge line*). Berdasarkan hal ini terdapat dua macam metode konstruksi turap, yaitu (a) struktur urugan (*backfilled structure*) dan (b) struktur galian (*dredged structure*). Langkah-langkah pelaksanaan struktur urugan diperlihatkan pada Gambar 2.15 dan struktur galian pada Gambar 2.16.



Gambar 2.15 Langkah-langkah konstruksi untuk struktur urugan.



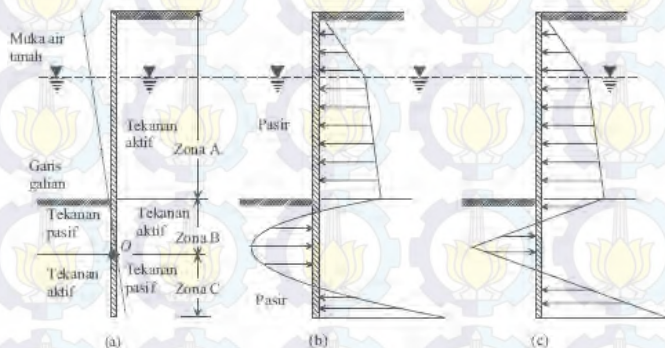
Gambar 2.16 Langkah-langkah konstruksi untuk struktur galian.

### 2.6.3 Turap *Cantilever*

Dinding turap *cantilever* biasanya direkomendasikan untuk dinding dengan ketinggian sedang, berkisar 6 m atau kurang di atas garis galian. Pada dinding ini, turap berperilaku seperti sebuah balok lebar *cantilever* di atas garis galian. Prinsip dasar untuk menghitung distribusi tekanan tanah lateral tiang turap *cantilever* dapat dijelaskan dengan bantuan Gambar 2.17, yang menunjukkan perilaku leleh dinding *cantilever* yang tertanam pada lapisan pasir di bawah garis galian. Dinding berputar pada titik  $O$ . Oleh karena adanya tekanan hidrostatik pada masing-masing sisi dinding, maka tekanan ini akan saling menghilangkan, dengan demikian yang diperhitungkan hanya tekanan tanah lateral efektif saja. Pada Zona  $A$ , tekanan lateral hanyalah tekanan tanah aktif saja yang berasal dari tanah sebelah di atas garis galian.



Sementara pada Zona B, oleh karena pelenturan dinding di daerah ini, maka bekerja tekanan tanah lateral aktif dari bagian tanah sebelah atas garis galian dan tekanan tanah pasif di bawah garis galian di sebelah air. Kondisi pada Zona B ini akan berkebalikan dengan Zona C, yaitu di bawah titik rotasi  $O$ . Distribusi tekanan tanah bersih ditunjukkan pada Gambar 2.17 (b), namun untuk penyederhanaan biasanya Gambar 2.17 (c) akan digunakan dalam perencanaan.

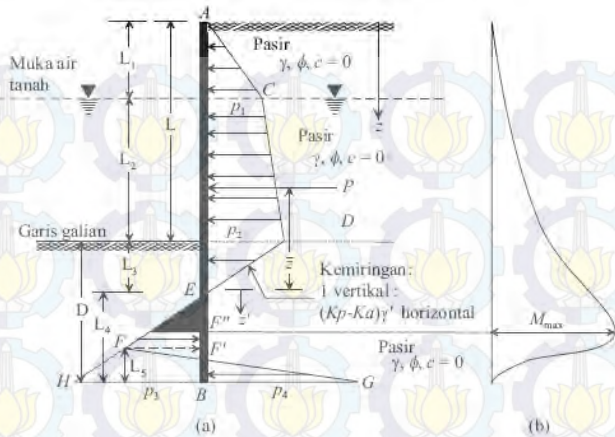


Gambar 2.17 Tiang turap *cantilever* tertanam pada pasir.

#### a) Turap *Cantilever* pada Pasir

Untuk mengembangkan hubungan untuk kedalaman penanaman tiang turap yang dibutuhkan di dalam tanah granular perhatikanlah Gambar 2.18 (a). Tanah yang akan ditahan oleh dinding turap, berada di atas garis galian, adalah juga tanah granular. Permukaan air tanah berada pada kedalaman  $L_1$  dari puncak tiang.

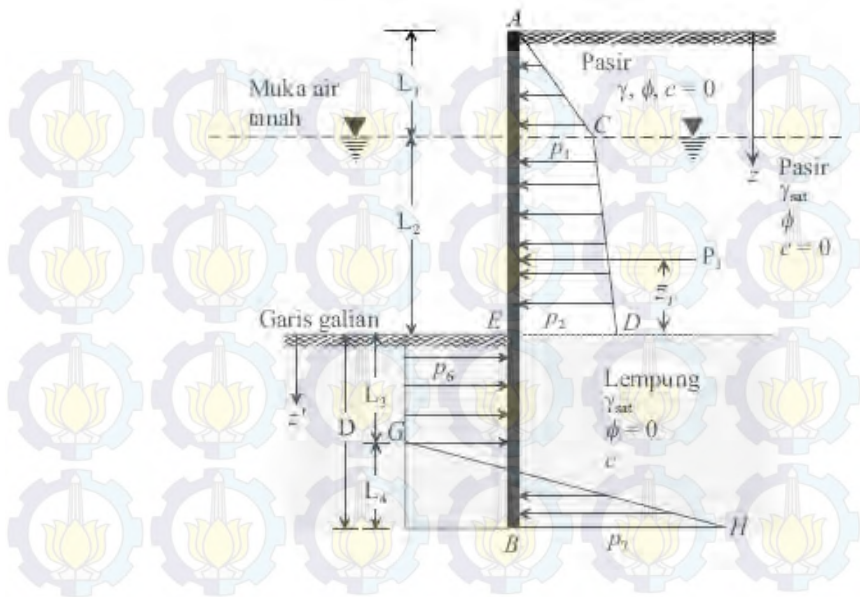




Gambar 2.18 Tiang turap cantilever tertanam pada pasir : (a) variasi diagram tekanan bersih (b) variasi momen.

### b) Turap Cantilever pada Lempung

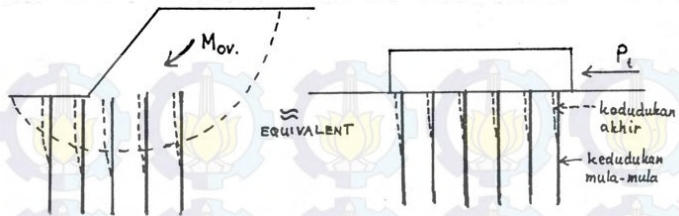
Dalam beberapa kasus, tiang turap *cantilever* harus disorongkan ke dalam lapisan lempung yang mempunyai kohesi taksalur (*undrained cohesion*),  $c$  (konsep  $f = 0$ ). Gambar 2.19 memperlihatkan sebuah dinding turap yang disorongkan ke dalam lempung dengan bahan isian di belakang turap adalah tanah granular yang terletak di atas garis galian. Misalkanlah permukaan air terletak pada kedalaman  $L_1$  di bawah puncak turap, diagram untuk distribusi tekanan tanah di atas permukaan garis galian dapat digambarkan.



Gambar 2.19 Tiang turap cantilever tertanam pada lapisan lempung.

## 2.7 Konsep Penggunaan Cerucuk untuk Meningkatkan Daya Dukung Tanah

Penggunaan cerucuk dimasukkan untuk menaikkan tahanan geser tanah. Bila tahanan tanah terhadap geser meningkat, daya dukung tanah juga meningkat. Asumsi yang dipergunakan dalam konstruksi cerucuk dapat dilihat pada Gambar 2.20. Pada gambar tersebut kelompok tiang (cerucuk) dengan "*rigid cap*" pada permukaan tanah menerima gaya horisontal. Gaya horisontal ini adalah merupakan tegangan geser yang terjadi sepanjang bidang gelincir. Konstruksi cerucuk yang dapat dipakai yaitu, cerucuk bambu, cerucuk kayu, cerucuk beton (mikropile) dan lain-lain.



Gambar 2.20 Asumsi gaya yang diterima ceruk.  
(NAVFAC DM-7, 1971)

Untuk menghitung kebutuhan ceruk per-meter, terlebih dahulu ditentukan kekuatan 1 (satu) tiang/ceruk untuk menahan gaya horisontal. Kemudian berdasarkan perbandingan dari besarnya momen penggerak dengan momen penahan yang dibutuhkan ditentukan jumlah tiang/ceruk yang diperlukan. Sesuai dengan syarat kestabilan lereng, maka dengan pemberian ceruk harga angka keamanan dari kestabilan lereng harus dibuat menjadi sekurang-kurangnya 1.10 untuk kondisi dengan beban sementara (kendaraan) dan sekurang-kurangnya 1.50 untuk kondisi hanya beban timbunan embankment saja.

Adapun prosedur dari perlindungan kebutuhan ceruk adalah sebagai berikut (NAVFAC DM-7, 1971) :

- a. Perhitungan kekuatan 1 (satu) buah ceruk terhadap gaya horisontal.

- Menghitung faktor kekakuan relatif (T)

$$T = \left( \frac{EI}{f} \right)^{\frac{1}{5}} \dots \dots \dots (2.17)$$

Dimana:

- E = modulus elastisitas tiang (ceruk), kg/cm<sup>2</sup>
- I = momen inersia tiang (ceruk), cm<sup>4</sup>
- f = koefisien darl variasi modulus tanah, kg/cm<sup>3</sup>
- T = dalam cm



Harga  $f$  didapat dengan bantuan Gambar 2.21 (dari Design Manual, NAVFAC DM-7 1971) yang merupakan grafik hubungan antara  $f$  dengan unconfined compression strength,  $q_u = 2 C_u$ .

- Menghitung gaya horisontal yang mampu ditahan 1 (satu) tiang.

$$M_p = F_M (P \times T) \dots\dots\dots (2.18)$$

Dimana:

$M_p$  = momen lentur yang bekerja pada cerucuk akibat beban  $P$ , kg-cm

$F_M$  = koefisien momen akibat gaya lateral  $P$

$P$  = gaya horisontal yang diterima cerucuk, kg

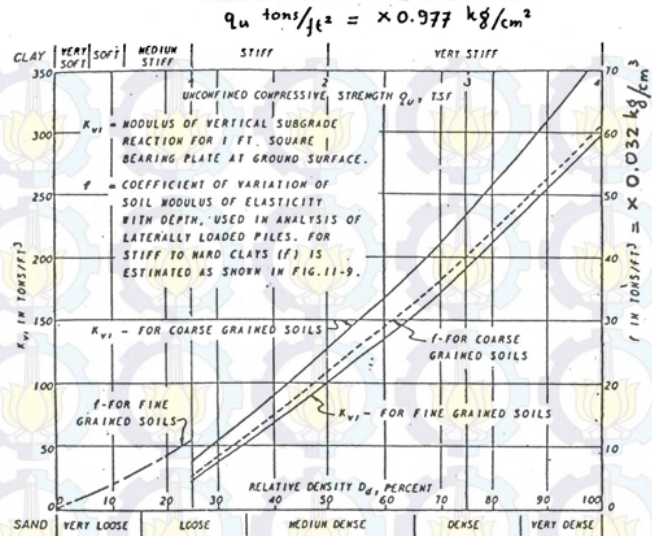
$T$  = faktor kekakuan relatif, cm

Dengan merencanakan panjang cerucuk yang tertahan di bawah/atas bidang gelincir ( $L$ ) didapat  $L/T$ . Dari harga  $L/T$  pada kedalaman ( $=Z$ ) dengan bantuan Gambar 2.22 (dari Design Manual, NAVFAC DM-7 1971) maka didapatkan harga  $F_M$ . Jadi gaya horisontal yang mampu dipikul oleh 1 (satu) cerucuk adalah :

$$P = \frac{M_p}{F_M \times T} \dots\dots\dots (2.19)$$

Gaya maksimal  $P_{\max}$  yang dapat ditahan oleh satu cerucuk terjadi bila  $M_p$  = momen maksimum lentur bahan cerucuk. Bila kekuatan bahan dan dimensi bahan diketahui, maka :





Gambar 2.21 Mencari harga  $f$  untuk berbagai jenis tanah.  
(dari NAVFAC DM-7 1971)

Harga  $M_p$  yang telah diperoleh kemudian dipergunakan untuk menghitung gaya maksimum ( $P_{max}$ ) yang dapat ditahan oleh satu cerucuk, yaitu:

$$P_{\max} \text{ 1 cerucuk} = \frac{M_{p_{\max}} \text{ 1 cerucuk}}{F_M \times T} \times F_{kg} \dots\dots\dots (2.20)$$

Dimana menurut Mochtar & Arya (2002),  
 $F_{kg} = 2,30 \times Y_t \times Y_s \times Y_n \times Y_D \dots\dots\dots (2.21)$

Dimana:

$Y_t$  = variasi rasio tancap

- untuk  $X_t < 5$ ,  
 $Y_t = 0.05 X_t$
- untuk  $5 < X_t < 20$ ,  
 $Y_t = 0.09 (X_t) - 0.35$
- untuk  $X_t > 20$

$$Y_t = 1.45$$

$X_t$  = rasio tancap  
=  $L/D$

$Y_s$  = variasi spasi  
=  $-0.057(X_s)^2 + 0.614(X_s) - 0.658$

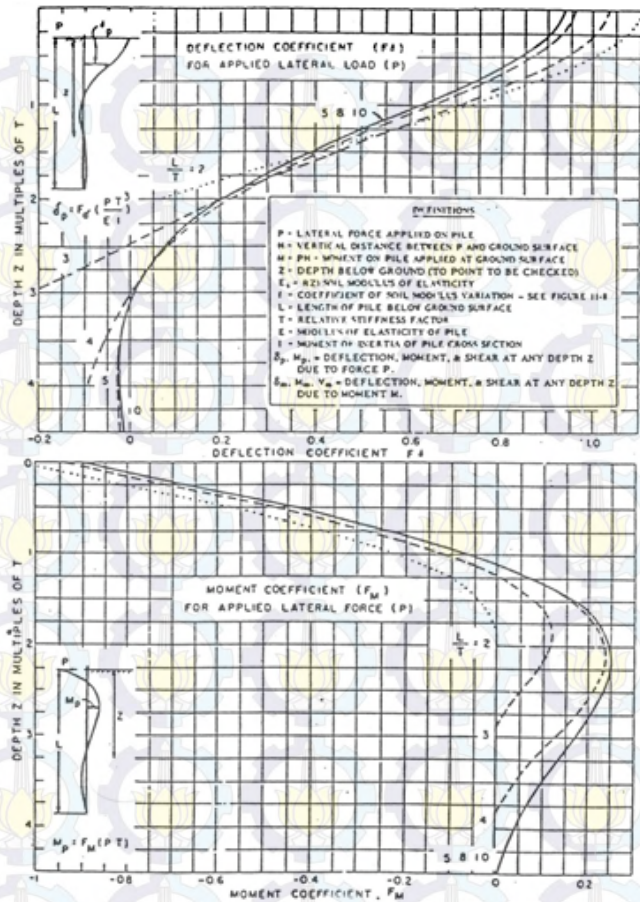
$X_s$  = Spasi  
=  $S/D$

$Y_n$  = variasi jumlah (sejajar)  
=  $1.051 - 0.047(X_n)$

$X_n$  = jumlah cerucuk

$$Y_D = 46.616(X_D) - 3.582$$

$X_D$  = Rasio  
=  $D/T$



Gambar 2.22 Grafik untuk menentukan besarnya.  
FM (NAVFAC DM-7, 1971)

- b. Untuk menghitung banyaknya tiang/cerucuk per-meter, maka ditentukan gaya horisontal total yang terjadi pada bidang gelincir (Pt). Gaya horisontal Pt tersebut kemudian direncanakan untuk dipikul oleh cerucuk.

Untuk itu, Momen Dorong (MD) yang terjadi akibat beban timbunan dan beban lain yang ada perlu dihitung. Dengan menggunakan Xstabl, Geoslope, atau lainnya diperoleh angka keamanan minimum (SF min), Momen Penahan (MR), titik pusat bidang longsor, dan jari-jari kelongsoran. Dari data yang diperoleh tersebut kemudian dihitung Momen Dorong (MD), yaitu:

$$\text{Momen Dorong (MD)} = \frac{MR}{SF \text{ min}} \dots\dots\dots (2.22)$$

Dimana :

SF = *Safety factor* /angka keamanan

MR =  $\Sigma \Delta c_u \times L \times R$

$\Sigma \Delta c_u$  = tegangan geser undrained tanah dasar

L = panjang bidang gelincir

R = jari – jari putar bidang gelincir

Setelah besarnya MD dan MR diketahui, langkah selanjutnya adalah menghitung Momen Penahan Tambahan ( $\Delta MR$ ) yang diperlukan untuk meningkatkan Angka Keamanan, SF, caranya :

- Menentukan Angka Keamanan Rencana (SF min)
  - SF renc  $\geq 1.10$  untuk beban sementara
  - SF renc  $\geq 1.50$  untuk beban tetap
- Menghitung Momen Penahan Tambahan ( $\Delta MR$ )
 
$$\Delta MR = (SF \text{ renc} - SF \text{ min}) \times MD \dots\dots\dots (2.23)$$

Dengan diperolehnya harga  $\Delta MR$ . besarnya tambahan gaya yang harus dipikul oleh cerucuk (Pt) dapat ditentukan dengan cara:

$$Pt = \frac{\Delta MR}{R}, \text{ dimana } R = \text{jari – jari kelongsoran}$$



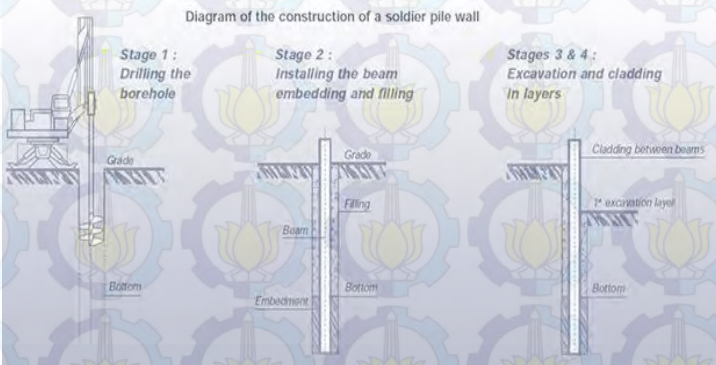
Jumlah cerucuk (n) yang harus dipasang persatuan panjang adalah

$$n = \frac{P_t}{\frac{P_{maks} - 1 \text{ cerucuk}}{\Delta MR}} = \frac{P_t}{(\Delta MR \times P_{maks} - 1 \text{ cerucuk})} \dots \dots \dots (2.24)$$

## 2.8 Perencanaan *Soldier Pile*

*Soldier Pile* adalah dinding penahan tanah pada suatu galian yang terdiri dari rangkaian/barisan *bored pile* yang terbuat dari beton yang dicor di tempat (*cast in situ*). Sebagai struktur penahan tanah, soldier pile dapat digunakan pada hampir semua jenis tanah dan segala jenis lapangan.

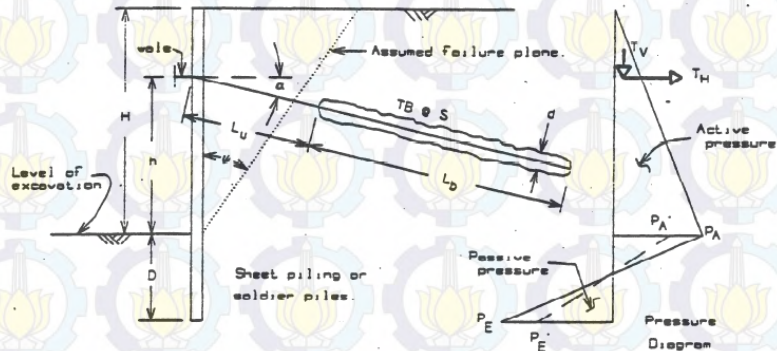
*Soldier pile* merupakan *bored pile* yang akan difungsikan sebagai penahan tanah dan akan diaplikasikan menerima/menahan gaya atau beban horizontal yang ditimbulkan dari tekanan tanah maupun air yang ditahannya serta bangunan yang ada di sebelahnya. Kedalaman dan diameter *soldier pile* tergantung dari perhitungan kekuatan, berdasarkan ketinggian lereng, jenis tanah dan perkiraan beban horizontal yang ada.



Gambar 2.23 *Soldier Pile Wall*.

## 2.9 Metode Perkuatan dengan *Ground Anchor*

Perkuatan dengan ground anchor dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 2.24 *Soldier pile* dengan *ground anchor*.

Perencanaan Angkur mengacu pada *Caltrans Trenching and Shoring Manual*, dimana rumus yang digunakan :

$$P_{ult} = \pi d L_b \gamma h_m (\tan \theta) \dots \dots \dots (2.25)$$

dimana :

$d$  : diameter lubang bor

$L_b$  : panjang pengikat angkur

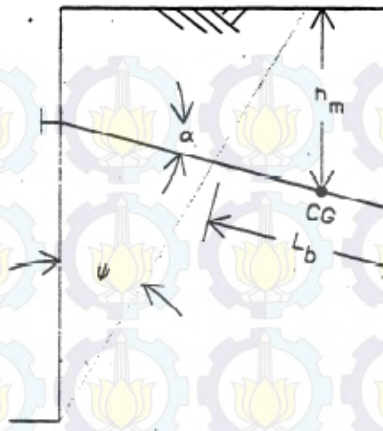
$\gamma$  : berat jenis tanah

$\theta$  : sudut geser tanah

$CG$  : panjang setengah  $L_b$  ( $L_b/2$ )

$h_m$  : jarak vertikal dari muka tanah ke  $CG$

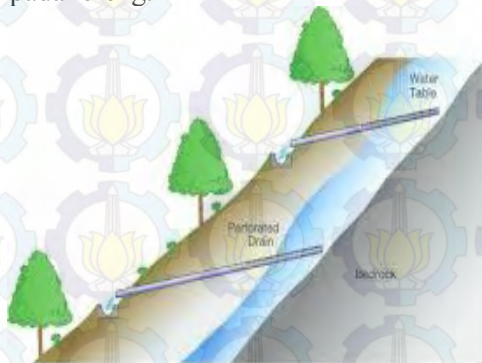
$\psi$  : sudut asumsi bidang longsor



Gambar 2.25 Perencanaan *ground anchor*.

### 2.10 Saluran Bawah Permukaan pada Lereng (*subdrain*)

Saluran bawah permukaan (*subdrain*) berfungsi untuk mengeringkan lahan agar tidak terjadi genangan air apabila terjadi hujan. Gambar 2.26 merupakan contoh saluran bawah permukaan pada lereng.



Gambar 2.26 Saluran bawah permukaan pada lereng.

## **BAB III METODOLOGI**

Penyelesaian Tugas Akhir ini dengan judul Perencanaan Soldier Pile untuk Perkuatan Lereng Jalan Tol Gempol - Pandaan STA. 6+518 s/d 6+575 akan dilakukan beberapa tahapan yaitu:

### **3.1 Studi Pustaka**

Tahapan studi pustaka dilakukan untuk mendapatkan pendalaman pemahaman terhadap permasalahan supaya pencapaian tujuan dapat dilakukan dengan tepat. Oleh karena itu di perlukan beberapa literatur untuk mendapatkan teori-teori yang relevan yang meliputi pembahasan:

1. Analisa Stabilitas Konstruksi Lereng  
Studi literatur mencakup stabilitas lereng maupun konstruksi penahan tanah itu sendiri
2. Konstruksi Penahan Tanah  
Studi literatur mencakup konstruksi penahan tanah yang tepat disesuaikan dengan kondisi lapangan, kemiringan lereng.
3. Metode Perkuatan Lereng  
Studi literatur mencakup perhitungan perkuatan lereng yang akan diterapkan pada konstruksi lereng.

### **3.2 Pengumpulan Data**

Data-data yang akan digunakan dalam pembuatan proposal antara lain:

1. Data Umum Proyek
2. Gambar *Shop Drawing, Plan, Potongan Memanjang dan Melintang*
3. Data Tanah: *Bor Log Soil Properties*



### 3.3 Analisa Data Tanah

Analisa ini meliputi penggambaran profil melintang lapisan-lapisan tanah berdasarkan data tanah yang telah diperoleh. Penggambaran ini dilakukan sebagai parameter yang digunakan pada proses perencanaan.

### 3.4 Analisa Stabilitas Lereng

Analisa stabilitas lereng dilakukan untuk mendapatkan angka keamanan yang ada sebelum diberikan perkuatan dengan alternatif sebagai berikut:

- Soldier Pile tanpa *Ground Anchor*
- Soldier Pile dengan *Ground Anchor*

### 3.5 Menentukan Koefisien Tekanan Tanah Lateral dan Menghitung Tekanan Tanah Lateral

Dari data tanah yang diperoleh, dihitung koefisien tanah menurut Rankine. Kemudian dihitung tekanan tanah lateral yang akan ditahan oleh *soldier pile*.

### 3.6 Perhitungan Alternatif Perkuatan Lereng

Setelah diperoleh besarnya tekanan tanah, direncanakan alternatif perkuatan tanah yaitu *soldier pile* tanpa *ground anchor* dan *soldier pile* dengan *ground anchor*.

### 3.7 Menghitung Biaya Bahan dari Alternatif Perkuatan Lereng

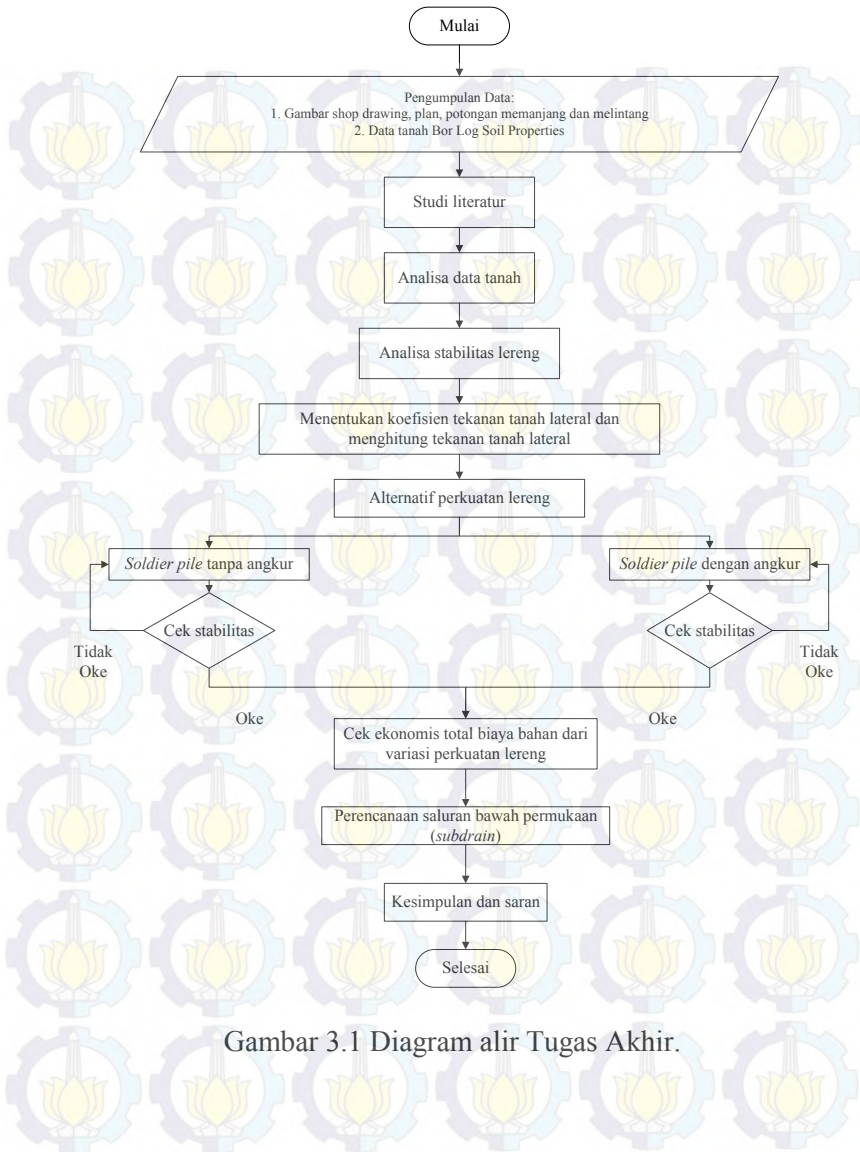
Dari kedua alternatif perkuatan tanah *soldier pile* tanpa *ground anchor* dan *soldier pile* dengan *ground anchor*, dihitung biaya bahan dan galian yang kemudian dibandingkan dan dipilih alternatif yang paling ekonomis.

### 3.8 Merencanakan Saluran Bawah Permukaan (*subdrain*)

Untuk menjaga muka air tanah tidak naik setinggi lereng, digunakan *subdrain* di lereng untuk mempercepat penurunan muka air tanah.

### 3.9 Bagan Alir

Berikut ini adalah diagram alir dalam penulisan Tugas Akhir.



Gambar 3.1 Diagram alir Tugas Akhir.

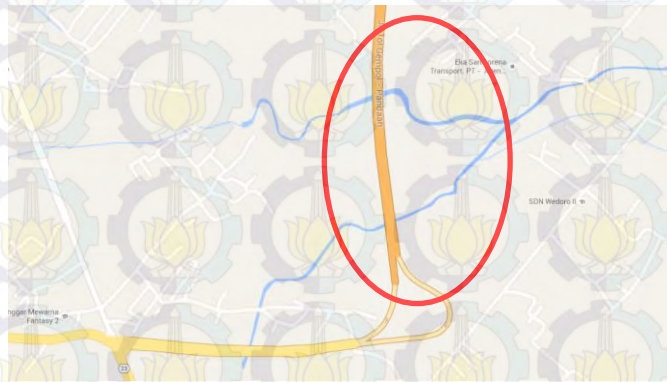
## **BAB IV**

### **ANALISA DATA TANAH**

#### **4.1. Data Tanah**

##### **4.1.1. Lokasi Data Tanah**

Tanah yang digunakan adalah pendekatan dari hasil penyelidikan tanah di daerah tol Gempol-Pandaan pada satu titik.



Gambar 4.1 Lokasi perencanaan pekuatan lereng.  
(Sumber : Google Maps, 2015)

##### **4.1.2 Penyelidikan Lapisan Tanah**

Pekerjaan penyelidikan tanah di lapangan dilaksanakan mengikuti ASTM (*American Standard for Testing Material*). Pengeboran dilakukan sampai kedalaman 16 meter dari original ground level, dengan pengambilan contoh tanah tidak terganggu (*undisturbed sample*) dan pelaksanaan SPT setiap interval 2 meter (SPT pertama kali dilaksanakan pada kedalaman 1.50 meter dari original ground level). Pelaksanaan SPT dihentikan setelah harga SPT  $\geq 60$  sebanyak 3 kali berturut – turut setinggi 30 cm sampai





## 4.2. Analisa Stabilitas Lereng

### 4.2.1 Analisa Data Tanah

Tanah dianalisa dengan menggunakan data tanah asli dan data tanah *behaving like sand*.

#### 4.2.1.1 Data Tanah Asli

Data tanah asli yang diperoleh dari hasil bor log dan grafik nilai SPT pada perencanaan ini adalah seperti yang terlihat pada Tabel 4.1 berikut:

Tabel 4.1 Data tanah asli.

H m	Jenis	SPT n	$\gamma_t$ kN/m <sup>3</sup>	$\gamma_{sat}$ kN/m <sup>3</sup>	C kPa	$\phi$ °
0 - 2	Lanau kepasiran	10	18	20	50	0
2 - 4	Lanau kepasiran	31	18	20	155	0
4 - 6	Lanau kepasiran	13	18	20	65	0
6 - 8	Pasir	80	18	20	400	0
8 - 10	Lanau kepasiran	80	18	20	400	0
10 - 12	Lanau kepasiran	80	18	20	400	0
12 - 14	Lanau kepasiran	80	18	20	400	0
14 - $\infty$	Pasir, lanau, kerikil	80	18	20	30	20

Dengan menggunakan data tanah asli, dari program Xstabl diperoleh  $SF > 1$ , ini berarti kondisi lereng tidak akan mengalami longsor. Namun kondisinya dengan di lapangan berbeda. Nilai  $SF < 1$  diperoleh dengan menganggap tanah sebagai pasir (*behaving like sand*). Maka pada perencanaan ini lereng direncanakan dalam

kondisi terburuk, jadi data tanah yang digunakan adalah data tanah *behaving like sand*.

#### 4.2.1.2 Data Tanah *Behaving Like Sand*

Data tanah dianalisa dengan *asumsi behaving like sand* untuk menyesuaikan dengan kondisi di lapangan. Perbedaan antara data tanah asli dengan data tanah *behaving like sand* adalah terdapat pada nilai  $c$  dan  $\phi$ . Pada data tanah asli, tanahnya sesuai dengan hasil pengeboran, sedangkan pada *behaving like sand* data tanahnya menyerupai pasir. Dalam kasus ini tanah yang mengalami perubahan hanya setinggi lereng yaitu pada elevasi 1 s/d 18 meter.

Dari asumsi tersebut diambil nilai  $c$  adalah 0, sedangkan nilai  $\phi$  diasumsikan  $30^\circ$ , dianggap besifat seperti pasir atau dapat dilihat pada Tabel 4.2 berikut ini.

Tabel 4.2 Data tanah *behaving like sand*.

H m	Jenis	SPT n	$\gamma_t$ kN/m <sup>3</sup>	$\gamma_{sat}$ kN/m <sup>3</sup>	C kPa	$\phi$ °
0 - 2	Lanau kepasiran	10	18	20	0	30
2 - 4	Lanau kepasiran	31	18	20	0	30
4 - 6	Lanau kepasiran	13	18	20	0	30
6 - 8	Pasir	80	18	20	0	30
8 - 10	Lanau kepasiran	80	18	20	0	30
10 - 12	Lanau kepasiran	80	18	20	0	30
12 - 14	Lanau kepasiran	80	18	20	0	30
14 - 18	Pasir, lanau, kerikil	80	18	20	0	30
18 - $\infty$	Pasir,	80	18	20	30	20

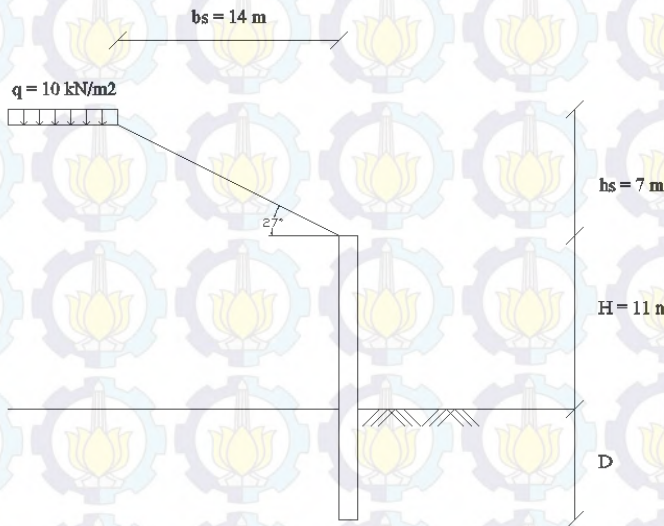
	lanau, kerikil					
--	-------------------	--	--	--	--	--

#### 4.2.2 Pemodelan Lereng dalam X-Stabl

Pemodelan dari lereng dalam program X-Stabl 5.202 th.1997 menggunakan beberapa ketentuan sebagai berikut:

##### 1. Geometri Lereng

Geometri lereng didapat dari data perencanaan. Geometri lereng yang dianalisa setinggi 18 meter seperti terlihat pada Gambar 4.4 dibawah ini.

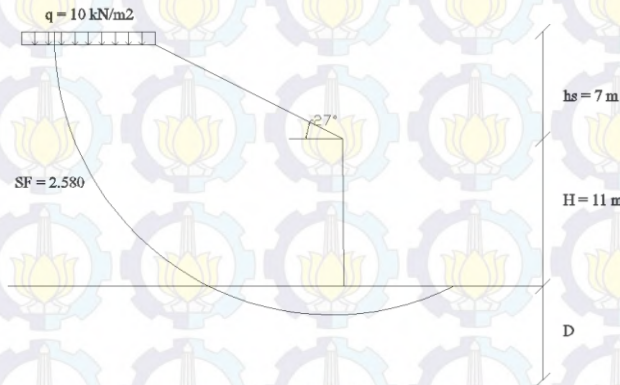


Gambar 4.4 Geometri lereng.

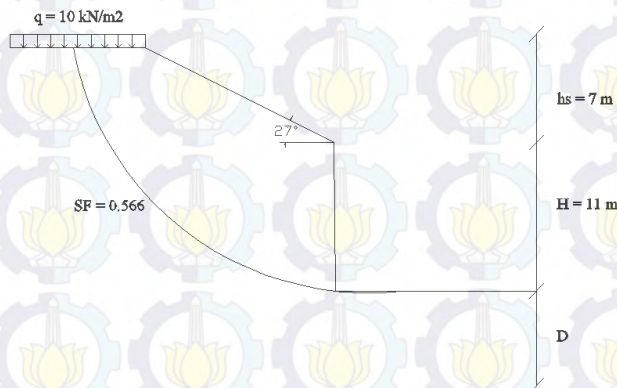
2. Metode analisa yang digunakan adalah metode irisan Bishop.
3. Bidang longsor lereng yang dianalisa untuk jangkauan bidang longsor yaitu stabilitas keseluruhan (*overall stability*).



Bidang longsor yang dianalisa mencakup keseluruhan badan lereng dari bagian atas sampai bagian bawah. Gambar 4.5 dan Gambar 4.6 adalah gambar bidang longsor dengan SF minimum menggunakan data tanah asli dan data tanah *behaving like sand* dengan asumsi muka air tanah berada pada kedalaman 18 m dari atas lereng, atau diasumsikan lereng dalam kondisi kering.



Gambar 4.5 SF minimum lereng dengan data tanah asli.



Gambar 4.6 SF minimum lereng dengan data tanah *behaving like sand*.

Pada kenyataan di lapangan, lereng berisi air, maka dicari SF minimum dengan variasi kedalaman letak muka air tanah. Hasilnya dapat dilihat pada Tabel 4.3 dan Tabel 4.4.

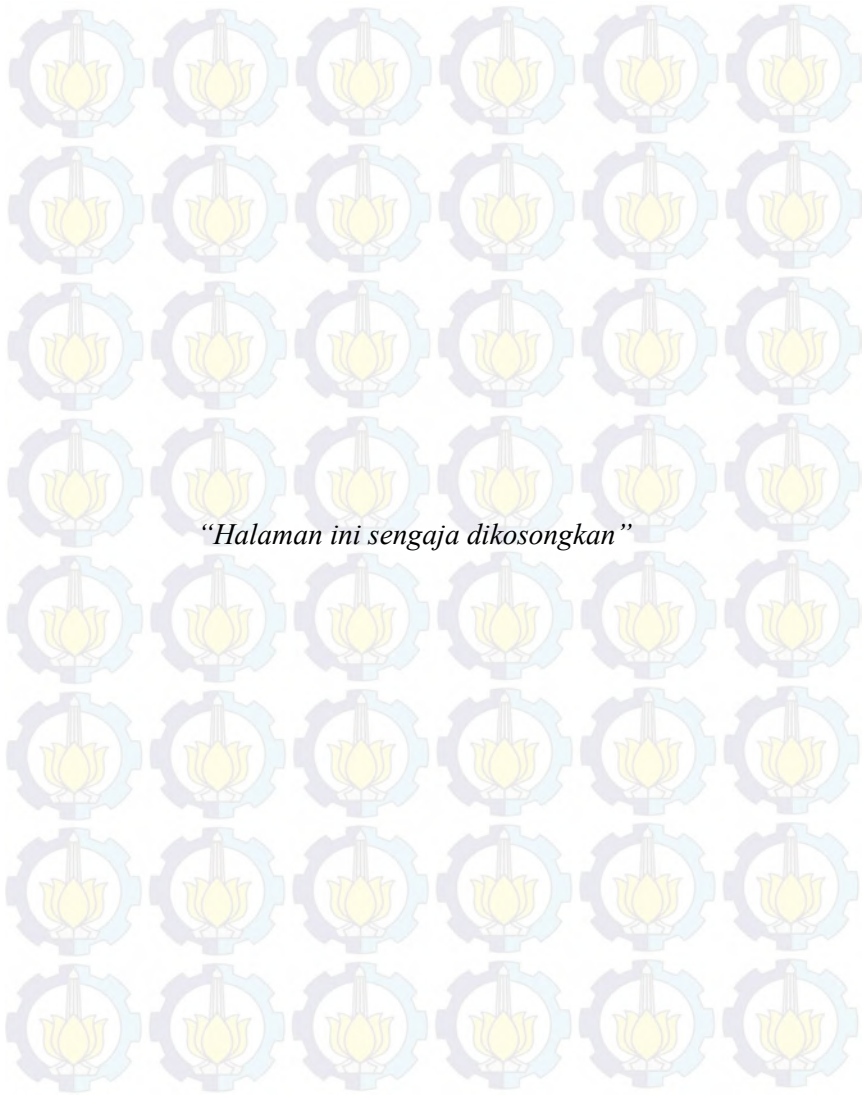
Tabel 4.3 Nilai SF min berdasarkan variasi kedalaman muka air tanah menggunakan data tanah asli.

No	Kedalaman Muka Air Tanah	SF min
1	0	2.063
2	-2	2.100
3	-6	2.214
4	-10	2.362
5	-14	2.492
6	-18	2.580

Tabel 4.4 Nilai SF min berdasarkan variasi kedalaman muka air tanah menggunakan data tanah *behaving like sand*.

No	Kedalaman Muka Air Tanah	SF min
1	0	0.333
2	-2	0.341
3	-6	0.380
4	-10	0.458
5	-14	0.530
6	-18	0.566

Nilai SF dari data asli menunjukkan bahwa tanah tidak mengalami longsor walaupun dalam kondisi jenuh air, sedangkan pada kondisi *behaving like sand* menunjukkan tanah akan mengalami longsor. Kondisi *behaving like sand* lebih mendekati kondisi asli di lapangan, maka dalam perencanaan digunakan data tanah *behaving like sand*.



## BAB V

### PERENCANAAN

#### 5.1 Umum

Alternatif perencanaan perkuatan lereng yang dipilih adalah perkuatan dengan *soldier pile* tanpa *ground anchor* dan perkuatan *soldier pile* dikombinasikan dengan *ground anchor*.

#### 5.2 Analisa Stabilitas Dinding

Berikut adalah tahapan analisa stabilitas dinding dengan menggunakan program X-Stable.

##### 5.2.1 Data tanah *behaving like sand*

Karena kondisi tanah di lapangan tidak sesuai dengan data tanah asli maka perlu dilakukan koreksi dan diambil data tanah *behaving like sand*. Data tanah *behaving like sand* tersebut dianalisa kembali dengan program X-Stable dan dengan beberapa kali percobaan dengan variasi letak *initation* dan *termination point* dari program X-Stable diperoleh hasil seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Hasil analisa data X-Stable terhadap tanah *behaving like sand*.

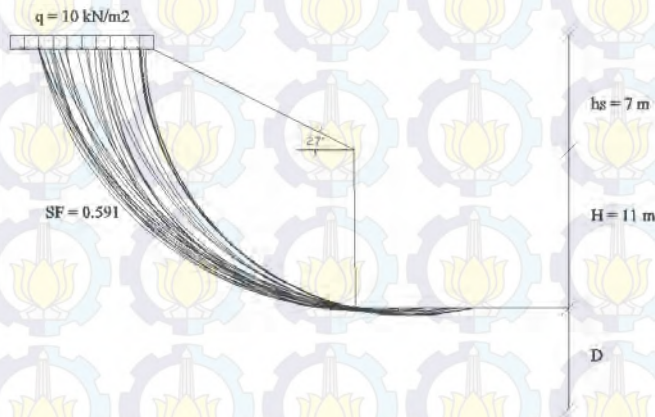
No.	SF	R m	MR min kNm
1	0.566	22.16	23150
2	0.574	23.11	25210
3	0.581	19.84	20810
4	0.591	24.75	29040
5	0.605	19.34	20540
6	0.606	25.60	30690



7	0.612	24.82	30640
8	0.615	25.63	31500
9	0.616	21.15	22220
10	0.624	20.69	24550
11	0.567	20.31	20170
12	0.584	23.5	26500
13	0.605	26.52	32100
14	0.606	19.39	19450
15	0.607	22.36	26570
16	0.609	24.25	29480
17	0.613	21.66	23000
18	0.617	26.34	31710
19	0.628	21.74	26730
20	0.629	19.46	19690
21	0.569	18.46	17880
22	0.586	17.98	17830
23	0.605	26.53	32150
24	0.609	22.48	26940
25	0.612	20.31	22690
26	0.620	18.57	20450
27	0.623	23.18	29080
28	0.626	20.14	20850
29	0.626	25.91	32860
30	0.629	24.31	31020
31	0.612	19.18	17970
32	0.612	19.18	17980
33	0.612	19.18	17990
34	0.612	19.18	17990
35	0.613	19.02	17710
36	0.614	19.2	17930
37	0.615	18.83	17430
38	0.617	18.7	17270
39	0.617	18.95	17820
40	0.618	18.95	17900

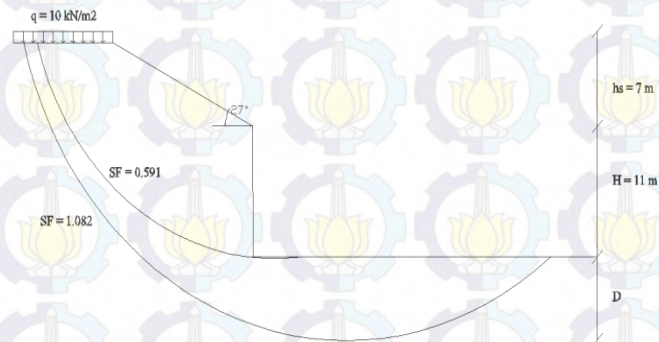
### 5.2.2 Bidang Longsor Lereng

Pada analisa kelongsoran lereng digunakan data tanah pada Tabel 4.2 (data tanah *behaving like sand*) dengan kedalaman muka air tanah -18 m karena nantinya akan dipasang *subdrain* untuk menjaga lereng tetap kering. Dari data bidang longsor didapat bidang longsor yang paling banyak membutuhkan perkuatan bukan dari bidang longsor dengan SF minimum tetapi pada bidang longsor dengan SF = 0.591, jari - jari kelongsoran = 24.75 m, dan MR min = 29040 kNm. Maka data ini yang digunakan untuk merencanakan perkuatan. Gambar 5.1 berikut ini adalah gambar bidang longsor lereng yang diperoleh dari hasil X-Stable.



Gambar 5.1 Bidang longsor lereng yang diperoleh dari hasil X-Stable.

Kemudian dicari juga bidang longsor dengan  $SF=1$ . Panjang *bored pile* harus memotong bidang longsor dengan  $SF=1$  untuk memastikan tidak terjadinya longsor. Berikut gambar bidang longsor yang direncanakan perkuatan ( $SF=0.591$ ) dan bidang dengan  $SF=1$ . Bidang longsor dengan  $SF$  kritis dapat dilihat pada Gambar 5.2 berikut ini.

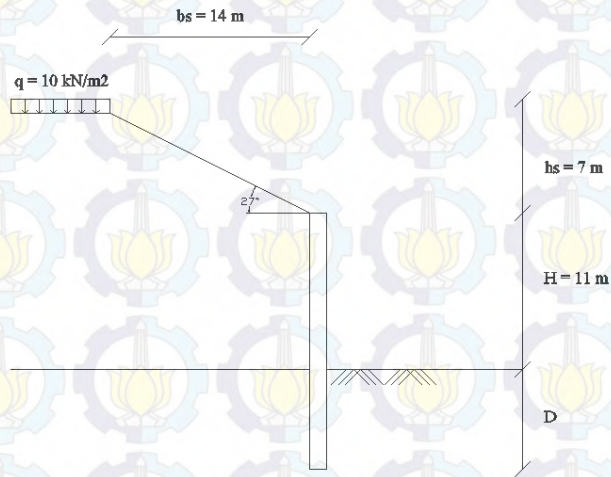


Gambar 5.2 Bidang longsor lereng dengan  $SF$  kritis dan  $SF=1$ .

Bidang longsor dengan  $SF=1.082$  terletak pada kedalaman 5.75 m, maka perencanaan kedalaman *bored pile* harus lebih besar dari 5.75 m.

### 5.2.3 Model Geometri *Soldier Pile*

Perencanaan dimulai dengan penggambaran model geometri *soldier pile* yang dapat dilihat pada gambar 5.3 di bawah ini.



Gambar 5.3 Model geometri *soldier pile*.

### 5.3 Perencanaan *Soldier Pile* tanpa *Ground Anchor*

Perencanaan *soldier pile* dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut

1. Perhitungan koefisien tekanan tanah

Koefisien tekanan tanah aktif dan pasif diperoleh dengan menggunakan rumus Rankine yaitu:

- a. Koefisien tekanan tanah aktif

$$K_a = \tan^2 \left( 45 - \frac{\phi}{2} \right),$$

dan untuk kondisi tanah miring:



$$K_a = \cos \alpha \times \frac{\cos \alpha - \sqrt{\cos^2 \alpha - \cos^2 \phi}}{\cos \alpha + \sqrt{\cos^2 \alpha - \cos^2 \phi}}$$

dimana:

$$K_{a1} = \cos \alpha \times \frac{\cos \alpha - \sqrt{\cos^2 \alpha - \cos^2 \phi}}{\cos \alpha + \sqrt{\cos^2 \alpha - \cos^2 \phi}}$$

$$= \cos 27^\circ \times \frac{\cos 27^\circ - \sqrt{\cos^2 27^\circ - \cos^2 30^\circ}}{\cos 27^\circ + \sqrt{\cos^2 27^\circ - \cos^2 30^\circ}}$$

$$= 0.552$$

$$K_{a2} = \tan^2(45 - \frac{\phi}{2})$$

$$= \tan^2(45 - \frac{20}{2})$$

$$= 0.490$$

b. Koefisien tekanan tanah pasif

$$K_p = \tan^2(45 + \frac{\phi}{2}) \text{ dimana:}$$

$$K_{p1} = \tan^2(45 + \frac{\phi}{2})$$

$$= \tan^2(45 + \frac{20}{2})$$

$$= 2.040$$

## 2. Perhitungan Tekanan Tanah

a. Aktif

(i) Titik 1

$$\begin{aligned} \sigma_v &= q \\ &= 10 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\sigma_h = q \times K_{a1}$$

$$= 10 \text{ kN/m}^2 \times 0.552$$

$$= 5.52 \text{ kN/m}^2$$

(ii) Titik 2 atas

$$\sigma_v = (\gamma \times h) + q$$

$$= (18 \text{ kN/m}^3 \times 11 \text{ m}) + 10 \text{ kN/m}^2$$

$$= 208 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_h = ((\gamma \times h) + q) \times K_{a1}$$

$$= ((18 \times 11) + 10) \text{ kN/m}^2 \times 0.552$$

$$= 114.77 \text{ kN/m}^2$$

(iii) Titik 2 bawah

$$\sigma_v = (\gamma \times h) + q$$

$$= (18 \text{ kN/m}^3 \times 11 \text{ m}) + 10 \text{ kN/m}^2$$

$$= 208 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_h = (((\gamma \times h) + q) \times K_{a2}) - 2c \sqrt{K_{a2}}$$

$$= (((18 \times 11) + 10) \text{ kN/m}^2 \times 0.490) - 2 \times$$

$$30 \times \sqrt{0.490}$$

$$= 59.97 \text{ kN/m}^2$$

(iv) Titik 3

$$\sigma_v = ((\gamma \times h) + q) + (\gamma' \times D_o)$$

$$= (((18 \times 11) + 10) + (10 D_o)) \text{ kN/m}^2$$

$$= (10 D_o + 208) \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_h = ((\gamma \times h) + q) + (\gamma' \times D_o) \times K_{a2} - 2c \sqrt{K_{a2}}$$

$$= (((18 \times 11) + 10) + (10 D_o)) \text{ kN/m}^2 \times$$

$$0.490 - 2 \times 30 \times \sqrt{0.490}$$

$$= (4.90 D_o + 59.97) \text{ kN/m}^2$$

b. Pasir

(i) Titik 2 bawah

$$\sigma_v = 0$$

$$\sigma_h = 2c\sqrt{K_p}$$

$$= 2 \times 30 \sqrt{2.040}$$

$$= 85.69 \text{ kN/m}^2$$

(ii) Titik 3

$$\sigma_v = \gamma' \times D_o$$

$$= 10 D_o \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_h = (\gamma' \times D_o \times K_p) + 2c\sqrt{K_p}$$

$$= ((10 \times D_o \times 2.040) + (2 \times 30 \times \sqrt{2.040})) \text{ kN/m}^2$$

$$= (20.4 D_o + 85.69) \text{ kN/m}^2$$

3. Perhitungan  $E_a$  dan  $E_p$

$$\text{a. } E_{a1} \cos \alpha = q \times K_{a1} \times h \times \cos \alpha$$

$$= 10 \times 0.552 \times 11 \times \cos 27$$

$$= 54.08 \text{ kN/m}$$

$$\text{b. } E_{a2} \cos \alpha = \frac{1}{2} \times ((\gamma \times h) \times K_{a1} \times h \times \cos \alpha$$

$$= \frac{1}{2} \times ((18 \times 11) \times 0.552 \times 11 \times \cos 27$$

$$= 535.38 \text{ kN/m}$$

$$\text{c. } E_{a3} = (((\gamma \times h) + q) \times K_{a2}) - 2c\sqrt{K_{a2}} \times h$$

$$= (((18 \times 11) + 10) \text{ kN/m}^2 \times 0.490) - 2 \times 30 \times \sqrt{0.490} \times D_o$$

$$= 59.97 D_o \text{ kN/m}$$

$$\text{d. } E_{a4} = \frac{1}{2} \times ((\gamma' \times D_o) \times K_{a2} \times D_o$$

$$= \frac{1}{2} \times ((10 \times D_o) \times 0.490 \times D_o$$

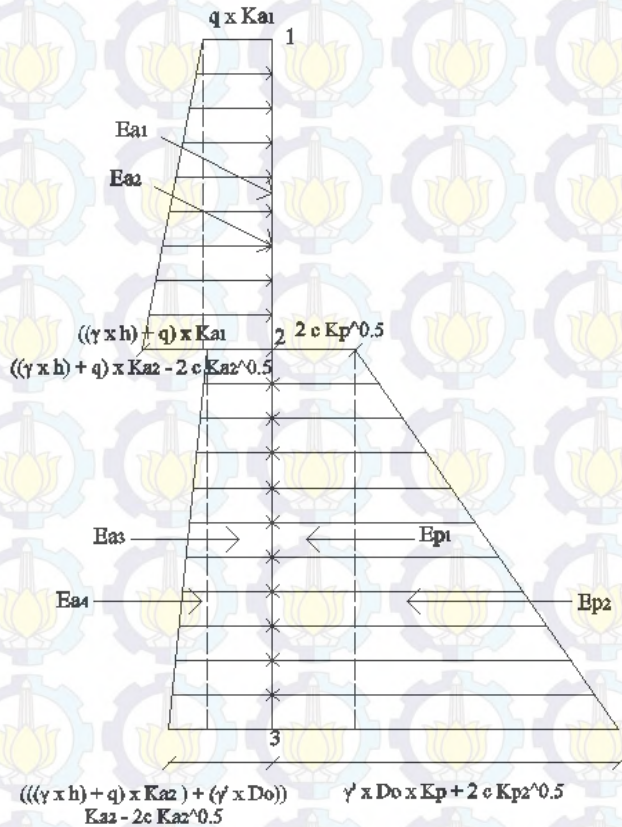
$$= 2.45 D_o^2 \text{ kN/m}$$

$$\text{e. } E_{p1} = 2c\sqrt{K_p}$$

$$= 2c\sqrt{2.040}$$

$$= 85.69 D_o \text{ kN/m}$$

$$\begin{aligned}
 \text{f. } E_{p2} &= 1/2 \times ((\gamma' \times D_o \times K_p) + (2c\sqrt{K_p})) \times D_o \\
 &= 1/2 \times ((10 \times D_o \times 2.040) + (2 \times 30 \times \sqrt{2.040})) \times D_o \\
 &= (10.2D_o^2 + 85.69 D_o) \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$



Gambar 5.4 Diagram tekanan tanah lateral.



#### 4. Perhitungan Kedalaman Tiang

$$\Sigma M_3 = 0$$

$$\Sigma M_3 = E a_1 \cos \alpha \times ((h/2) + D_o) + E a_2 \times ((h/3) + D_o) + E a_3 \times (D_o/2) + E a_4 \times (D_o/3) - E p_1 \times ((D_o/2) - E p_2 \times ((D_o/3))$$

$$\Sigma M_3 = 297.43 + 54.08 D_o + 1963.06 + 535.38 D_o + 28.51 D_o^2 + 0.82 D_o^3 - 42.84 D_o^2 - 3.40 D_o^3 - 14.28 D_o^2$$

$$\Sigma M_3 = -2.58 D_o^3 - 27.14 D_o^2 + 589.46 D_o + 2260.49$$

$$D_o = 12.76 \text{ m}$$

$$D = 1.2 \times D_o$$

$$= 1.2 \times 12.76 \text{ m}$$

$$= 15.31 \text{ m}$$

$$\text{Panjang Tiang} = D + h$$

$$= 15.31 \text{ m} + 11 \text{ m}$$

$$= 26.3 \text{ m}$$

#### 5. Mencari Nilai Momen Maksimum

Menentukan Lokasi Zero Pressure

$$M_x = -2.58x^3 - 27.14x^2 + 589.46x + 2260.49$$

$$M_x/D_x = 0$$

$$M_x/D_x = -7.75 x^2 - 54.28 x + 589.46$$

$$x = 5.9 \text{ m}$$

$$M_{\text{maks}} = -2.58(5.9^3) + 14.23(5.9^2) + 557.01(5.9) + 2082.03$$

$$= 4263.15 \text{ kNm/m}$$

Jarak Pemasangan *Bored Pile*

$$S = 1.2 \text{ m}$$

$$M_{\text{maks}} = 5115.78 \text{ kNm}$$

## 6. Perencanaan Tulangan

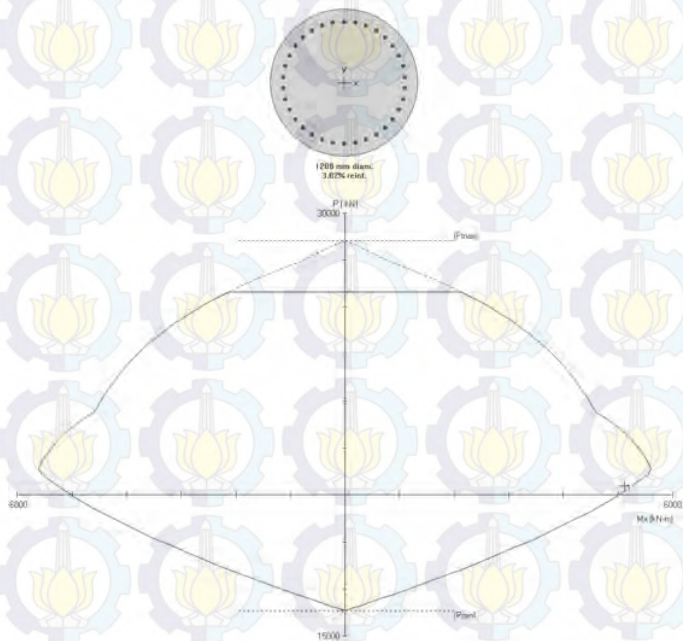
### a. Tulangan Utama

Untuk keperluan perencanaan, mutu beton ( $f'_c$ ) adalah 30 Mpa dan mutu tulangan adalah 400 Mpa.

$$P_u = 1014.54 \text{ kN}$$

$$M_{\text{maks}} = 5115.78 \text{ kNm}$$

Dengan menggunakan program PCA Cal, direncanakan *bored pile* berukuran 1200 mm dengan tulangan utama diameter 36 mm dan jumlah tulangan utama 34. Gambar 5.4 berikut ini adalah gambar diagram interaksi penulangan dari PCA Cal.



Gambar 5.5 Diagram interaksi penulangan.

## b. Tulangan Geser

Dipakai pembebanan gaya geser terbesar pada *bored pile*, yaitu pada ujung bawah *bored pile*, dimana  $V_u = 1547205 \text{ N}$ .

$$V_u = 1547205 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}\phi V_c &= \phi \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \times \frac{1}{4} \pi D^2 \\ &= \phi \frac{1}{6} \sqrt{30} \times \frac{1}{4} \pi 1200^2 \\ &= 825946.158 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_u - \phi V_c &= 1547205 \text{ N} - 825946.158 \text{ N} \\ &= 721258.842 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}0.67 \times \frac{1}{4} \pi D^2 &= 0.67 \times \frac{1}{4} \pi (1200^2) \\ &= 757752.148 \text{ N}\end{aligned}$$

$$V_u - \phi V_c < 0.67 \times \frac{1}{4} \pi D^2, \text{ maka hitung } V_s$$

$$\begin{aligned}V_s &= \frac{V_u}{\phi} - V_c \\ &= \frac{1547205 \text{ N}}{0.8} - 1032432.698 \text{ N} \\ &= 901573.552 \text{ N}\end{aligned}$$

$$S = \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s}$$

Digunakan sengkang D19

$$\begin{aligned}A_v &= \frac{1}{4} \pi 12^2 \\ &= 283.53 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned}S &= \frac{283.53 \times 400 \times 1200}{901573.552} \\ &= 150.95 \text{ mm}\end{aligned}$$

Digunakan sengkang D19 – 150 mm.

## 7. Perencanaan *Soldier Pile* Sebagai Cerucuk

Perencanaan *soldier pile* sebagai cerucuk dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut

a. Parameter yang digunakan:

i. Panjang *bored pile* di bawah bidang longsor  
 $L = 15,24 \text{ m}$

ii. Gaya Penahan (resisting) :

- Faktor Modulus Tanah (f)

Dari grafik NAVFAC, DM-7, 1971 diperoleh:

$$f = 0.032 \times 40 \\ = 1.28 \text{ kg/cm}^3$$

- Momen Inersia (I):

$$I = \frac{\pi}{64} (D^4), \text{ dimana:}$$

$$D = 120 \text{ cm}$$

$$I = \frac{\pi}{64} (120^4) \\ = 10178760.2 \text{ cm}^4$$

- Modulus Elastisitas

$$E_w = 4700 \sqrt{f'c}$$

$$E_w = 4700 \sqrt{30}$$

$$E_w = 257429.6 \text{ kg/cm}^2$$

- Faktor Kekakuan Relatif (T) :

$$T = \left( \frac{EI}{f} \right)^{1/5} \\ = \left( \frac{257429.6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \times 10178760.2 \text{ cm}^4}{1.28 \text{ kg/cm}^3} \right)^{1/5} \\ = 289.9 \text{ cm}$$

- Koefisien Momen Akibat Gaya Lateral :

Dari grafik NAVFAC, DM-7, 1971, diperoleh :

$$L/T = 1524 \text{ cm} / 289.9 \text{ cm} \\ = 5.26$$

$$Z = 0$$



$$F_m = 0.9$$

b. Gaya horizontal yang mampu dipikul 1 cerucuk :

$$P = M \times F_{kg} / T.F_m$$

Perencanaan Cerucuk:

$$\text{Diameter} = 1200 \text{ mm}$$

$$F'_c = 30 \text{ Mpa}$$

$$F_y = 400 \text{ Mpa}$$

$$D = 43 \text{ mm}$$

Jumlah tulangan 22 tulangan

Dengan menggunakan Pca Cal didapat:

$$\begin{aligned} M_n &= 5005.1 \text{ kNm} \\ &= 50051000 \text{ kgcm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mult} &= 0.8 \cdot M_n \\ &= 0.8 \cdot 53300000 \text{ kgcm} \\ &= 42640000 \text{ kgcm} \end{aligned}$$

$$M = 42640000 \text{ kgcm}$$

$$F_{kg} = 2.3 \times Y_t \times Y_s \times Y_n \times Y_D$$

Dimana :

- $Y_t$  = Variasi rasio tancap  

$$= 0.09 (X_t) - 0.35 \quad (5 < X_t < 20)$$
  - $X_t = L/D$   

$$= 1524 \text{ cm} / 120 \text{ cm}$$

$$= 12.7$$

$$\begin{aligned} Y_t &= 0.09 (12.7) - 0.35 \\ &= 0.793 \end{aligned}$$

- $Y_s$  = Variasi spasi  

$$= -0.057 (X_s)^2 + 0.614 (X_s) - 0.658$$

- $X_s = \text{Spasi (S/D)}, \text{ diasumsikan } 5.5$   

$$Y_s = -0.057 (5.5)^2 + 0.614 (5.5) - 0.658$$

$$= 0.99$$

- $Y_n$  = Variasi jumlah (sejajar)

$$= 1.051 - 0.047 (X_n)$$

- $X_n$  = Jumlah Cerucuk, disumsikan 1

$$Y_n = 1.051 - 0.047 (1) \\ = 1$$

- $Y_D$  = Variasi diameter

$$\begin{aligned} \text{➤ } X_D &= D/T \\ &= (120\text{cm}/289.9 \text{ cm}) \\ &= 0.414 \end{aligned}$$

$$X_D > 0.12$$

$$Y_D = 2$$

$$\begin{aligned} F_{kg} &= 2.3 \times Y_t \times Y_s \times Y_n \times Y_D \\ &= 2.3 \times 0.793 \times 0.99 \times 1 \times 2 \\ &= 3.64 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P &= M_{pmaks} \text{ 1 cerucuk} \times F_{kg} / (f_m \times T) \\ &= 42640000 \text{ kgcm} \times 3.64 / (0.9 \times 289.9 \text{ cm}) \\ &= 5948.78 \text{ kN} \end{aligned}$$

c. Jumlah Cerucuk yang dibutuhkan :

$$SF_{min} = 0.591$$

$$MR_{min} = 29040 \text{ kNm}$$

$$R(\text{jari-jari}) = 24.75 \text{ m}$$

$$SF_{rencana} = 1.3$$

$$\begin{aligned} M_{dorong} &= MR_{min}/SF_{min} \\ &= 29040 \text{ kNm} / 0.591 \\ &= 49137.1 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta MR &= (SF_{ren} - SF_{min}) \times M_{dorong} \\ &= (1.3 - 0.591) \times 49137.1 \text{ kNm} \\ &= 34838.2 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$n = \frac{\Delta MR}{P_{max} \text{ 1 cerucuk} \times R}$$

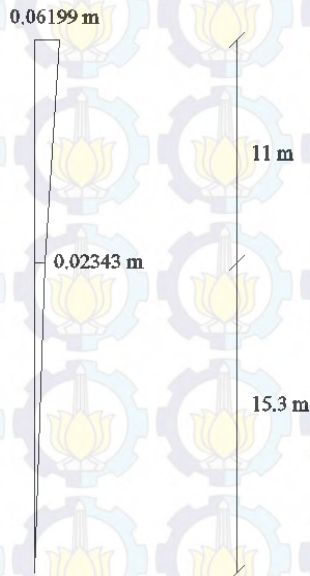
$$n = \frac{34838.2 \text{ kNm}}{5948.78 \text{ kN} \times 24.75 \text{ m}} = 0.237$$

Diperlukan 1 cerucuk.

Dengan kedalaman *bored pile* 15.3 m memenuhi syarat dari perhitungan dengan konsep cerucuk, juga telah memotong bidang longsor dengan SF=1 pada kedalaman 5.75 m. Panjang total *bored pile* adalah 26.3 m.

#### 7. Kontrol Defleksi

Dengan menggunakan program SAP, diperoleh deformasi akibat gaya-gaya yang terjadi. Besarnya deformasi dapat dilihat pada Gambar 5.6.



Gambar 5.6 Deformasi *soldier pile* tanpa *ground anchor*.

### 5.4 Perencanaan *Soldier Pile* dengan *Ground Anchor*

Perencanaan *soldier pile* dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

#### 1. Perhitungan koefisien tekanan tanah

Koefisien tekanan tanah aktif dan pasif diperoleh dengan menggunakan rumus Rankine yaitu:

##### a. Koefisien tekanan tanah aktif

$$K_a = \tan^2 \left( 45 - \frac{\phi}{2} \right),$$

dan untuk kondisi tanah miring:

$$K_a = \cos \alpha \times \frac{\cos \alpha - \sqrt{\cos^2 \alpha - \cos^2 \phi}}{\cos \alpha + \sqrt{\cos^2 \alpha - \cos^2 \phi}}$$

dimana:

$$\begin{aligned} K_{a1} &= \cos \alpha \times \frac{\cos \alpha - \sqrt{\cos^2 \alpha - \cos^2 \phi}}{\cos \alpha + \sqrt{\cos^2 \alpha - \cos^2 \phi}} \\ &= \cos 27^\circ \times \frac{\cos 27^\circ - \sqrt{\cos^2 27^\circ - \cos^2 30^\circ}}{\cos 27^\circ + \sqrt{\cos^2 27^\circ - \cos^2 30^\circ}} \\ &= 0.552 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_{a2} &= \tan^2 \left( 45 - \frac{\phi}{2} \right) \\ &= \tan^2 \left( 45 - \frac{20}{2} \right) \\ &= 0.490 \end{aligned}$$

##### b. Koefisien tekanan tanah pasif

$$K_p = \tan^2 \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right) \text{ dimana:}$$

$$K_{p1} = \tan^2 \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right)$$



$$= \tan^2\left(45 + \frac{20}{2}\right)$$

$$= 2.040$$

## 2. Perhitungan Tekanan Tanah

### a. Aktif

#### (i) Titik 1

$$\begin{aligned}\sigma_v &= q \\ &= 10 \text{ kN/m}^2 \\ \sigma_h &= q \times K_{a1} \\ &= 10 \text{ kN/m}^2 \times 0.552 \\ &= 5.52 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

#### (ii) Titik 2 atas

$$\begin{aligned}\sigma_v &= (\gamma \times h) + q \\ &= (18 \text{ kN/m}^3 \times 11 \text{ m}) + 10 \text{ kN/m}^2 \\ &= 208 \text{ kN/m}^2 \\ \sigma_h &= ((\gamma \times h) + q) \times K_{a1} \\ &= ((18 \times 11) + 10) \text{ kN/m}^2 \times 0.552 \\ &= 114.77 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

#### (iii) Titik 2 bawah

$$\begin{aligned}\sigma_v &= (\gamma \times h) + q \\ &= (18 \text{ kN/m}^3 \times 11 \text{ m}) + 10 \text{ kN/m}^2 \\ &= 208 \text{ kN/m}^2 \\ \sigma_h &= (((\gamma \times h) + q) \times K_{a2}) - 2c \sqrt{K_{a2}} \\ &= (((18 \times 11) + 10) \text{ kN/m}^2 \times 0.490) - 2 \times \\ &\quad 30 \times \sqrt{0.490} \\ &= 59.97 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

#### (iv) Titik 3

$$\begin{aligned}\sigma_v &= ((\gamma \times h) + q) + (\gamma' \times D_o) \\ &= (((18 \times 11) + 10) + (10 D_o)) \text{ kN/m}^2 \\ &= (10 D_o + 208) \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \sigma_h &= ((\gamma \times h) + q) + (\gamma' \times D_o) \times K_{a2} - 2c \\
 &\quad \sqrt{K_{a2}} \\
 &= (((18 \times 11) + 10) + (10 D_o)) \text{ kN/m}^2 \times \\
 &\quad 0.490 - 2 \times 30 \times \sqrt{0.490} \\
 &= (4.90 D_o + 59.97) \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

b. Pasif

(i) Titik 2 bawah

$$\sigma_v = 0$$

$$\begin{aligned}
 \sigma_h &= 2c\sqrt{K_p} \\
 &= 2 \times 30 \sqrt{2.040} \\
 &= 85.69 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

(ii) Titik 3

$$\begin{aligned}
 \sigma_v &= \gamma' \times D_o \\
 &= 10 D_o \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \sigma_h &= (\gamma' \times D_o \times K_p) + 2c\sqrt{K_p} \\
 &= ((10 \times D_o \times 2.040) + (2 \times 30 \times \\
 &\quad \sqrt{2.040})) \text{ kN/m}^2 \\
 &= (20.4 D_o + 85.69) \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

### 3. Perhitungan $E_a$ dan $E_p$

$$\begin{aligned}
 \text{a. } E_{a1} \cos \alpha &= q \times K_{a1} \times h \times \cos \alpha \\
 &= 10 \times 0.552 \times 11 \times \cos 27 \\
 &= 54.08 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{b. } E_{a2} \cos \alpha &= \frac{1}{2} \times ((\gamma \times h) \times K_{a1} \times h \times \cos \alpha \\
 &= \frac{1}{2} \times ((18 \times 11) \times 0.552 \times 11 \times \cos \\
 &\quad 27 \\
 &= 535.38 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{c. } E_{a3} &= (((\gamma \times h) + q) \times K_{a2}) - 2c\sqrt{K_{a2}} \times \\
 &\quad h
 \end{aligned}$$

$$= (((18 \times 11) + 10) \text{ kN/m}^2 \times 0.490) -$$

$$2 \times 30 \times \sqrt{0.490} \times D_o$$

$$= 59.97 D_o \text{ kN/m}$$

d.  $Ea_4$

$$= 1/2 \times ((\gamma' \times D_o) \times Ka_2 \times D_o$$

$$= 1/2 \times ((10 \times D_o) \times 0.490 \times D_o$$

$$= 2.45 D_o^2 \text{ kN/m}$$

e.  $Ep_1$

$$= 2c\sqrt{Kp}$$

$$= 2c\sqrt{2.040}$$

$$= 85.69 D_o \text{ kN/m}$$

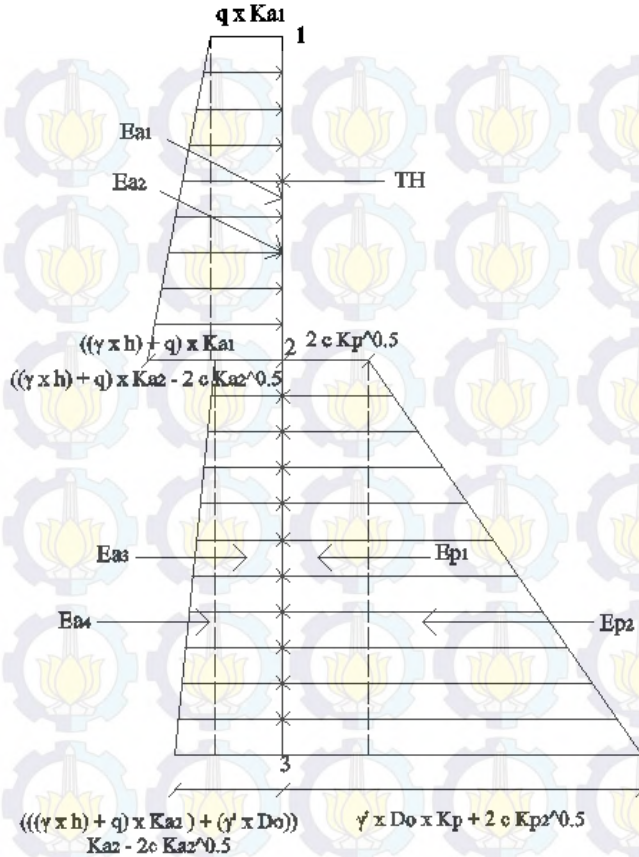
f.  $Ep_2$

$$= 1/2 \times ((\gamma' \times D_o \times Kp) + (2c\sqrt{Kp})) \times D_o$$

$$= 1/2 \times ((10 \times D_o \times 2.040) + (2 \times 30 \times \sqrt{2.040})) \times D_o$$

$$= (10.2D_o^2 + 42.84 D_o) \text{ kN/m}$$

g.  $TH$



Gambar 5.7 Gaya-gaya yang terjadi pada *bored pile*.

#### 4. Perhitungan Kedalaman Tiang

$$\Sigma H = 0$$

$$E_{a1} + E_{a2} + E_{a3} + E_{a4} - E_{p1} - TH = 0$$

$$TH = -7.75Do^2 + 17.12Do + 589.46 \text{ (Pers. 1)}$$



$$\Sigma M1 = 0$$

$$\Sigma M1 = -Ea1 \cos \alpha \times (h/2) - Ea2 \times (2/3h) - Ea3 \times ((Do/2)+h) - Ea4 \times ((2/3Do)+h) + Ep1 \times ((1/2Do)+h) + Ep2 \times ((2/3Do)+h) + TH \times (ha)$$

$$\Sigma M1 = -297.43 - 3926.11 - 29.98Do^2 - 659.65Do - 1.63Do^3 - 26.97Do^2 + 42.84Do^2 + 942.58Do + 6.80Do^3 + 140.74Do^2 + 471.29Do + 4TH$$

$$\Sigma M1 = 5.16Do^3 + 126.64Do^2 + 754.22Do - 4223.54 + 4H$$

$$4TH = -5.16Do^3 - 126.64Do^2 - 754.22Do + 4223.54$$

$$TH = -1.29Do^3 - 31.66Do^2 - 188.55Do + 1055.89 \text{ (Pers.2)}$$

$$\text{Persamaan 1} = \text{Persamaan 2}$$

$$-7.75Do^2 + 17.12Do + 589.46 = -1.29Do^3 - 31.66Do^2 - 188.55Do + 1055.89$$

$$1.29Do^3 + 23.91Do^2 - 205.68Do - 466.43 = 0$$

$$Do = 1.837 \text{ m}$$

$$D = Do$$

$$= 1.84 \text{ m}$$

$$\text{Panjang Tiang} = D + h$$

$$= 1.84 \text{ m} + 11 \text{ m}$$

$$= 12.84 \text{ m}$$

### 5. Mencari Nilai TH dari persamaan 1 dan 2

#### ◆ Persamaan 1

$$\begin{aligned} TH &= -7.75Do^2 + 17.12Do + 589.46 \\ &= -7.75(1.84^2) + 17.12(1.84) + 589.46 \\ &= 594.77 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

#### ◆ Persamaan 2

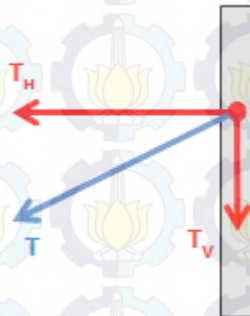
$$\begin{aligned} TH &= -1.29Do^3 - 31.66Do^2 - 188.55Do + 1055.89 \\ TH &= -1.29(1.84^3) - 31.66(1.84^2) - 188.55(1.84) + 1055.89 \\ TH &= 594.77 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Jarak pemasangan *Ground Anchor*

$$S = 1.60 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} TH &= 594.77 \text{ kN/m}^2 \times 1.60 \text{ m} \\ &= 951.64 \text{ kN} \end{aligned}$$

### 6. Mencari Nilai Tie Back Vertical Force



$$\begin{aligned} T &= \frac{TH}{\cos \alpha} \\ &= \frac{951.64 \text{ kN}}{\cos 20} \end{aligned}$$

$$= 1012.71 \text{ kN}$$

$$TV = T \times \sin \alpha$$

$$= 1012.71 \text{ kN} \times \sin 20$$

$$= 346.37 \text{ kN}$$

## 7. Mencari Nilai Momen Maksimum

Menentukan Lokasi *Zero Pressure*

Asumsi lokasi *zero pressure*  $4 \text{ m} < x < 11 \text{ m}$

$$\Sigma H = 0$$

$$Ka1 \cdot \gamma \cdot (x^2 \cdot 0.5) + (q \cdot Ka \cdot x) - TH = 0$$

$$0.552 \cdot 18 \cdot (x^2 \cdot 0.5) + (10 \cdot 0.552 \cdot x) - 410.81 = 0$$

$$4.97 x^2 + 5.52 x - 594.77 = 0$$

$$x = 10.40 \text{ m}$$

$$4 \text{ m} < 10.40 \text{ m} < 11 \text{ m} \text{ (Asumsi benar)}$$

$$M_{\max} = Ka1 \cdot \gamma \cdot (x^2 \cdot 0.5) \cdot x/3 + q \cdot Ka \cdot x \cdot (x/2) - (TH \cdot (x - h_a))$$

$$= 0.552 \cdot 18 \cdot ((10.40)^2 \cdot 0.5) \cdot (10.40)/3 +$$

$$10 \cdot 0.552 \cdot (10.40) \cdot ((10.40)/2) - (410.81 \cdot$$

$$((10.40) - 4)$$

$$= -1646.17 \text{ kNm}$$

Jarak Pemasangan *Bored Pile*

$$S = 0.80 \text{ m}$$

$$M_{\max} = -1646.17 \text{ kNm} \times 0.80 \text{ m}$$

$$= -1316.94 \text{ kNm}$$

### 8. *Anchor Tendon Capacity*

Dipakai 10 buah strand dengan diameter 0.5 inch

Data dari ASTM A416/A416M – 12 a, diperoleh:

$$A \text{ each} = 98.7 \text{ mm}^2$$

$$\text{Breaking Load} = 184 \text{ kN}$$

$$\text{Yield Load} = 156.1 \text{ kN}$$

$$D_t = 12.70 \text{ mm}$$

$$A_{\text{tot}} = \text{Jumlah strand} \times A \text{ each}$$

$$= 10 \times 98.7 \text{ mm}^2$$

$$= 987 \text{ mm}^2$$

$$f_u = \text{Breaking Load} / A \text{ each}$$

$$= (184 \text{ kN} \times 1000) / 98.7 \text{ mm}^2$$

$$= 1864.24 \text{ MPa}$$

Tegangan ijin batang tarik

$$T_{\text{design}} = 0.60 \times f_u \times A$$

$$= 0.60 \times (1864.24 \times 987 / 1000)$$

$$= 1104 \text{ kN}$$

$$T_{\text{proof}} = 0.80 \times f_u \times A$$

$$= 0.80 \times (1864.24 \times 987 / 1000)$$

$$= 1472 \text{ kN}$$

Gaya tarik aktual yang terjadi

$$T_{\text{design}} = T$$

$$= 1012.71 \text{ kN}$$

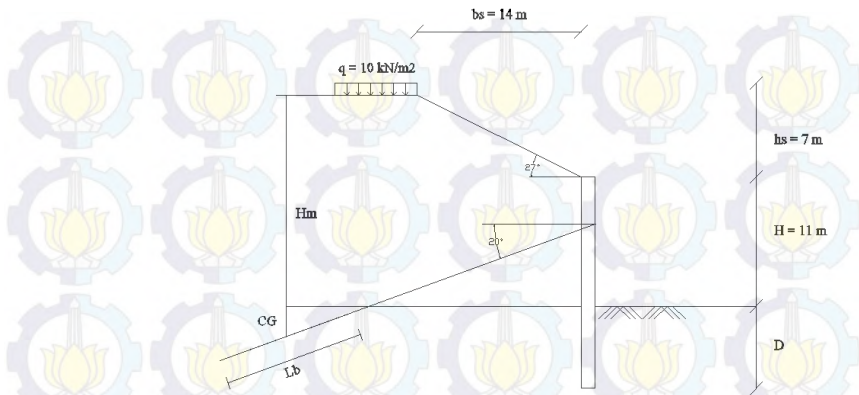
$$T_{\text{proof}} = 1.3 T$$

$$= 1.3 \times 1012.71 \text{ kN}$$

$$= 1316.52 \text{ kN}$$



### 9. Kapasitas *Ground Anchor*



Gambar 5.8 Perencanaan *ground anchor*.

$$d = 0.20 \text{ m}$$

$$L_b = 12 \text{ m}$$

$$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$$

$$H_m = 20.6 \text{ m}$$

$$P_{ult} = \pi d L_b (\sigma_n (\tan \phi) + c)$$

$$\sigma_n = (\gamma \times 18) + (\gamma' \times 2.6)$$

$$= (18 \times 18) + (10 \times 2.6)$$

$$= 350 \text{ kN/m}^2$$

$$= \pi \times 0.20 \times 12 \times (350 (\tan 20)) + 30$$

$$= 1749.79 \text{ kN}$$

$$T_{proof} < 0.85 P_{ult}$$

$$1316.52 \text{ kN} < 0.85 \times 1749.79 \text{ kN}$$

$$1316.52 \text{ kN} < 1487.32 \text{ kN} \dots \dots \dots \text{Ok}$$

## 10. Perencanaan Tulangan

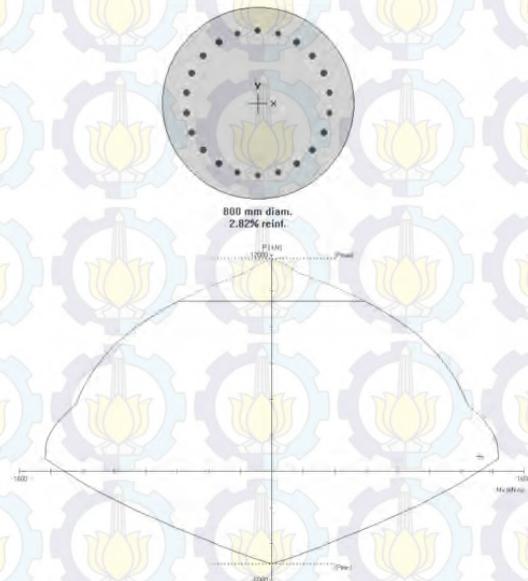
### a. Tulangan Utama

Untuk keperluan perencanaan, mutu beton ( $f'_c$ ) adalah 30 Mpa dan mutu tulangan adalah 400 Mpa.

$$P_u = 841.55 \text{ kN}$$

$$M_{\text{maks}} = 1316.94 \text{ kNm}$$

Dengan menggunakan program PCA Cal, direncanakan *bored pile* berukuran 800 mm dengan tulangan utama diameter 29 mm dan jumlah tulangan utama 22. Gambar 5.8 berikut ini adalah gambar diagram interaksi penulangan dari PCA Cal.



Gambar 5.9 Diagram interaksi penulangan.

## b. Tulangan Geser

Dipakai pembebanan gaya geser terbesar pada *bored pile*, yaitu pada ujung bawah *bored pile*, dimana  $V_u = 501803 \text{ N}$ .

$$V_u = 501803 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}\phi V_c &= \phi \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \times \frac{1}{4} \pi D^2 \\ &= \phi \frac{1}{6} \sqrt{30} \times \frac{1}{4} \pi 800^2 \\ &= 367087.18 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_u - \phi V_c &= 501803 \text{ N} - 367087.18 \text{ N} \\ &= 134716 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}0.67 \times \frac{1}{4} \pi D^2 &= 0.67 \times \frac{1}{4} \pi (800^2) \\ &= 336778.732 \text{ N}\end{aligned}$$

$$V_u - \phi V_c < 0.67 \times \frac{1}{4} \pi D^2, \text{ maka hitung } V_s$$

$$\begin{aligned}V_s &= \frac{V_u}{\phi} - V_c \\ &= \frac{501803 \text{ N}}{0.8} - 502654.825 \text{ N} \\ &= 124598.925 \text{ N}\end{aligned}$$

$$S = \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s}$$

Digunakan sengkang D12

$$\begin{aligned}A_v &= \frac{1}{4} \pi 12^2 \\ &= 113.097 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned}S &= \frac{113.097 \times 400 \times 800}{124598.925} \\ &= 290.46 \text{ mm}\end{aligned}$$

Digunakan sengkang D12 – 290 mm.

### 11. Perencanaan *Soldier Pile* Sebagai Cerucuk

Perencanaan *soldier pile* sebagai cerucuk dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

a. Parameter yang digunakan:

i. Panjang *bored pile* di bawah bidang longsor  
 $L = 1.77 \text{ m}$

ii. Gaya Penahan (resisting) :

- Faktor Modulus Tanah (f)

Dari grafik NAVFAC, DM-7, 1971 diperoleh:

$$\begin{aligned} f &= 0.032 \times 40 \\ &= 1.28 \text{ kg/cm}^3 \end{aligned}$$

- Momen Inersia (I):

$$I = \frac{\pi}{64} (D^4), \text{ dimana:}$$

$$D = 80 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} I &= \frac{\pi}{64} (80^4) \\ &= 2010619 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

- Modulus Elastisitas

$$E_w = 4700 \sqrt{f'c}$$

$$E_w = 4700 \sqrt{30}$$

$$E_w = 257429.6 \text{ kg/cm}^2$$

- Faktor Kekakuan Relatif (T) :

$$\begin{aligned} T &= \left( \frac{EI}{f} \right)^{1/5} \\ &= \left( \frac{257429.6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \times 2010619 \text{ cm}^4}{1.28 \text{ kg/cm}^3} \right)^{1/5} \\ &= 209.6 \text{ cm} \end{aligned}$$

- Koefisien Momen Akibat Gaya Lateral :

Dari grafik NAVFAC, DM-7, 1971, diperoleh :



$$\begin{aligned} L/T &= 177 \text{ cm}/209.6 \text{ cm} \\ &= 0.8445 \end{aligned}$$

$$Z = 0$$

$$F_m = 1$$

b. Gaya horizontal yang mampu dipikul 1 cerucuk :

$$P = M \times F_{kg}/T.F_m$$

Perencanaan Cerucuk:

$$\text{Diameter} = 800 \text{ mm}$$

$$F'_c = 30 \text{ Mpa}$$

$$F_y = 400 \text{ Mpa}$$

$$D = 29 \text{ mm}$$

Jumlah tulangan 22 tulangan

Dengan menggunakan Pca Cal didapat:

$$M_n = 1435.8 \text{ kNm}$$

$$= 14358000 \text{ kgcm}$$

$$\text{Mult} = 0.8 \cdot M_n$$

$$= 0.8 \cdot 14358000 \text{ kgcm}$$

$$= 11486400 \text{ kgcm}$$

$$M = 11486400 \text{ kgcm}$$

$$F_{kg} = 2.3 \times Y_t \times Y_s \times Y_n \times Y_D$$

Dimana :

- $Y_t = \text{Variasi rasio tancap}$

$$= 0.05 (X_t) \text{ (untuk } X_t < 5)$$

$$\triangleright X_t = L/D$$

$$= 177 \text{ cm} / 80 \text{ cm}$$

$$= 2.2125$$

$$Y_t = 0.05 (2.2125)$$

$$= 0.11$$

- $Y_s = \text{Variasi spasi}$

$$= -0.057 (X_s)^2 + 0.614 (X_s) - 0.658$$

➤  $X_s$  = Spasi (S/D), diasumsikan 5.5

$$Y_s = -0.057 (5.5)^2 + 0.614 (5.5) - 0.658 \\ = 0.99$$

- $Y_n$  = Variasi jumlah (sejajar) \\ =  $1.051 - 0.047 (X_n)$

➤  $X_n$  = Jumlah Cerucuk, disumsikan 1

$$Y_n = 1.051 - 0.047 (1) \\ = 1$$

- $Y_D$  = Variasi diameter \\ =  $46.616 (X_D) - 3.582$

➤  $X_D = D/T$  \\ =  $(80\text{cm}/289.9 \text{ cm})$  \\ = 0.276

$$X_D > 0.12$$

$$Y_D = 2$$

$$F_{kg} = 2.3 \times Y_t \times Y_s \times Y_n \times Y_D \\ = 2.3 \times 0.11 \times 0.99 \times 1 \times 2 \\ = 0.5$$

$$P = M_{pmaks} \text{ 1 cerucuk} \times F_{kg} / (f_m \times T) \\ = 11486400 \text{ kgcm} \times 0.5 / 1 \times 209.6 \text{ cm} \\ = 289.55 \text{ kN}$$

c. Jumlah Cerucuk (*Soldier Pile*) yang dibutuhkan :

$$SF_{min} = 0.591$$

$$MR_{min} = 29040 \text{ kNm}$$

$$R(\text{jari-jari}) = 24.75 \text{ m}$$

$$SF_{rencana} = 1.3$$

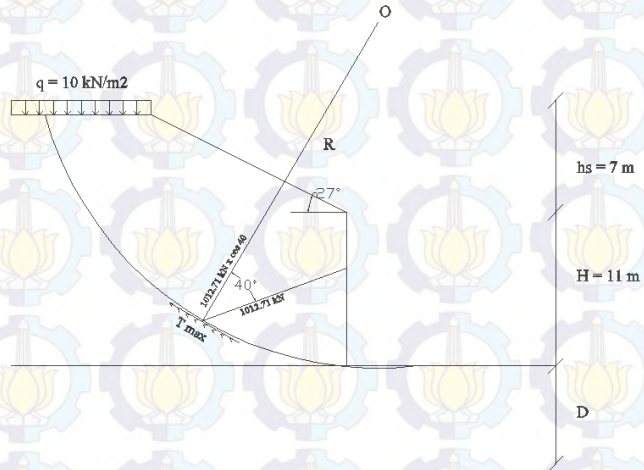
$$M_{dorong} = MR_{min} / SF_{min} \\ = 29040 \text{ kNm} / 0.591 \\ = 49137.1 \text{ kNm}$$

$$\Delta MR = (SF_{ren} - SF_{min}) \times M_{dorong}$$

$$= (1.3 - 0.591) \times 49137.1 \text{ kNm}$$

$$= 34838.204 \text{ kNm}$$

Pengurangan  $\Delta MR$  akibat *ground anchor*



Gambar 5.10 Gaya yang terjadi akibat *ground anchor*.

$$T_{max} = 1012.71 \text{ kN} \times \cos 40^\circ \times \tan 30^\circ$$

$$= 447.8973 \text{ kN}$$

$$\Delta MR = (T_{max} \times R) / S$$

$$= (447.8973 \text{ kN} \times 24.75 \text{ m}) / 1.6 \text{ m}$$

$$= 6928.41 \text{ kNm}$$

$$\Delta MR_{total} = 34838.204 \text{ kNm} - 6928.41 \text{ kNm}$$

$$= 27909.793 \text{ kNm}$$

$$n = \frac{\Delta MR}{\frac{P_{max \text{ 1 cerucuk}} \times R}{52378.5 \text{ kNm}}}$$

$$n = \frac{27909.793 \text{ kNm}}{289.55 \text{ kN} \times 24.75 \text{ m}}$$

$$n = 7.3 \approx 8 \text{ cerucuk}$$

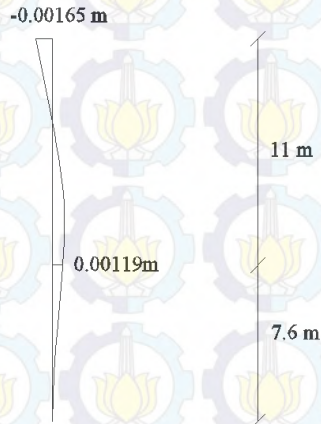
Jumlah cerucuk yang dibutuhkan adalah 8 cerucuk. Untuk menjadikan jumlah kebutuhan cerucuk hanya 1 cerucuk saja, maka panjang cerucuk di bawah bidang longsor harus diperbesar.

Dengan menggunakan *microsoft excel*, untuk dapat menggunakan 1 buah cerucuk maka panjang penanaman *bored pile* diperbesar menjadi 7.5 m dibawah bidang longsor.

Dengan demikian kedalaman *bored pile* menjadi 7.6 m. *Bored pile* juga sudah memotong bidang longsor dengan  $SF > 1$  yang terletak pada kedalaman 5.75 m. Panjang total *bored pile* adalah 18.6 m.

#### 11. Kontrol Defleksi

Dengan menggunakan program SAP, diperoleh deformasi akibat gaya-gaya yang terjadi. Besarnya deformasi dapat dilihat pada Gambar 5.11.



Gambar 5.11 Deformasi *soldier pile* dengan *ground anchor*.

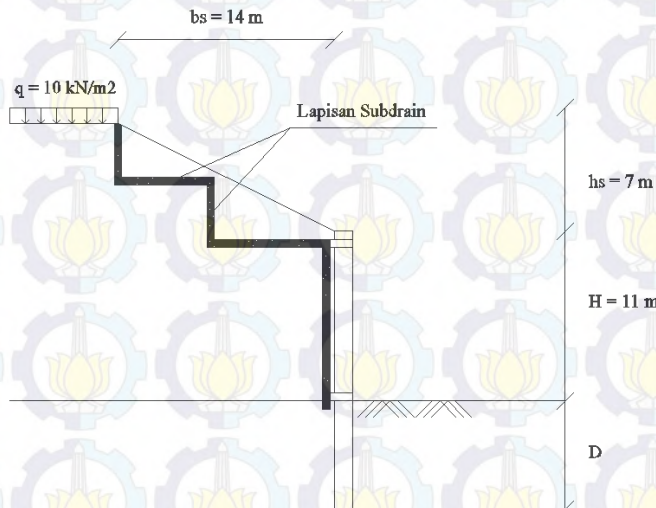


### 5.5 Perencanaan *Subdrain* pada Lereng

Untuk menjaga muka air tanah tidak naik setinggi lereng, digunakan subdrain di lereng untuk mempercepat penurunan muka air tanah.

Subdrain yang direncanakan adalah bronjong berukuran 1 m x 0.5 m x 2 m.

Gambar rencana *subdrain* dapat dilihat pada Gambar 5.12 berikut ini.



Gambar 5.12 Rencana *subdrain*.

### 5.6 Perhitungan Biaya dari Alternatif Perkuatan Lereng

Berikut perhitungan harga dari bahan kedua alternatif perkuatan lereng, dengan asumsi harga berdasarkan Harga Satuan Pokok Kegiatan 2015 kota Surabaya.

#### 1. *Soldier pile* tanpa *ground anchor*

$$D \text{ bored pile} = 1.20 \text{ m}$$

$$L \text{ bored pile} = 26.3 \text{ m}$$

Tulangan utama:

$$D = 0.036 \text{ m}$$

$$n = 34$$

Tulangan sengkang:

$$D = 0.019 \text{ m}$$

$$\text{Jarak} = 0.15 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah sengkang} = 176$$

$$\text{selimut beton} = 0.075 \text{ m}$$

$$\text{berat besi} = 7850 \text{ kg/m}^3$$

Tabel 5.2 Harga pekerjaan *bored pile* tanpa *ground anchor*.

Jenis Pek.	Volume (m <sup>3</sup> )	Berat (kg)	Harga Satuan (Rp)	Harga Total
Galian tanah cadas	29.76		162.660	4.840.464,08
Beton	29.76		1.117.315	33.249.250,7
Besi		8440.377	12.168	102.702.508
Jumlah				140.792.223

$$\text{Jumlah bored pile} = 56$$

$$\text{Harga total} = \text{Rp } 140.792.223 \times 56$$

$$= \text{Rp } 7.884.364.469,00$$

## 2. *Soldier pile* dengan *ground anchor*

$$D \text{ bored pile} = 0.80 \text{ m}$$

$$L \text{ bored pile} = 18.6 \text{ m}$$

Tulangan utama

$$D = 0.029 \text{ m}$$

$$n = 22$$

Tulangan sengkang

$$D = 0.012 \text{ m}$$

$$\text{Jarak} = 0.29 \text{ m}$$

$$n = 65$$

$$\text{selimut beton} = 0.075 \text{ m}$$

berat besi =  $7850 \text{ kg/m}^3$

Tabel 5.3 Harga pekerjaan *bored pile* dengan *ground anchor*.

Jenis Pek.	Volume (m <sup>3</sup> )	Berat (kg)	Harga Satuan (Rp)	Harga Total
Galian tanah cadas	9.35		162.660	1.520.770
Beton	9.35		1.117.315	10.446.202
Besi		2239.827	12.168	27.254.212
Jumlah				39.221.184

Jumlah *bored pile* = 84

Harga total = Rp 39.221.184 x 84

= Rp 3.294.579.456,00

Pekerjaan *Ground Anchor*

Panjang *Ground Anchor* = 34 m

Asumsi harga satuan *ground anchor* =

Rp 1.000.000,00/m

Harga satu *ground anchor* = Rp 1.000.000,00 x 34m

= Rp 34.000.000,00

Jumlah *ground anchor* = 24

Harga total *ground anchor* = Rp 34.000.000,00 x 24

= Rp 816.000.000,00

Biaya total = Harga total *bored pile* + harga total *ground anchor*

= Rp 3.294.579.456,00 + Rp 816.000.000,00

= Rp 4.110.579.473,00

## **BAB VI**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil analisa pada BAB V maka akan disimpulkan tentang pemilihan alternatif yang akan digunakan berdasarkan kriteria pemilihan alternatif yang paling ekonomis. Adapun kesimpulan yang diperoleh adalah sebagai berikut:

1. Perencanaan *soldier pile* tanpa *ground anchor* terdiri dari 56 *bored pile* dengan diameter masing – masing *bored pile* 1.2 m dan kedalaman masing – masing *bored pile* 26.3 m. Biaya galian dan material yang dibutuhkan untuk perencanaan *soldier pile* tanpa *ground anchor* adalah Rp 7.884.364.469,00.
2. Perencanaan *soldier pile* dengan *ground anchor* terdiri dari 84 *bored pile* dengan diameter masing – masing *bored pile* 0.8 m dan kedalaman masing – masing *bored pile* 18.6 m, serta 24 *ground anchor*. Biaya galian dan material yang dibutuhkan untuk perencanaan *soldier pile* dengan *ground anchor* adalah Rp 4.110.579.473,00.
3. Dari kedua alternatif perencanaan, dipilih alternatif yang paling murah yaitu perkuatan *soldier pile* dengan *ground anchor* dengan biaya Rp 4.110.579.473,00.

#### **SARAN**

Berdasarkan perencanaan yang telah dilakukan, maka disarankan:

1. Perencanaan harus memperhatikan kondisi tanah di lapangan karena belum tentu sesuai dengan data tanah yang diperoleh dan juga perencanaan dilakukan dalam kondisi terburuk. Seperti pada kasus ini tanah direncanakan dengan menganggap tanah pada lereng adalah pasir (*behaving like sand*).
2. Perencanaan dinding penahan tanah dengan konsep perhitungan seperti turap juga harus dikontrol dengan konsep perkuatan cerucuk, karena walaupun kedalaman dinding penahan tanah yang direncanakan dengan konsep perhitungan



turap sudah memenuhi, belum tentu kedalaman turap tersebut sudah memotong bidang longsor lereng dengan  $SF \geq 1$  dari konsep perhitungan cerucuk, sehingga longsor tetap bisa terjadi.

3. Dalam perencanaan lereng juga harus memperhatikan *subdrain* sehingga saat pelaksanaan tidak memperhitungkan pengaruh hujan.

## DAFTAR PUSTAKA

Das, Braja M., (translated by Mochtar N.E, and Mochtar I.B.).

1985. Mekanika Tanah (Prinsip – prinsip Rekayasa Geoteknik) Jilid I. Jakarta: Erlangga.

Das, Braja M., (translated by Mochtar N.E, and Mochtar I.B.).

1985. Mekanika Tanah (Prinsip – prinsip Rekayasa Geoteknik) Jilid II. Jakarta: Erlangga.

Coduto, Ronald.P. (2001). Foundation Design Principles And Practices, 2nd Edition, Upper Saddle River, New Jersey.

Trenching and Shoring Manual State of California Department of Transportation.

Bowles, J.E.( 1988). Foundation Analysis and Design, 4th ed., Mc-Graw-Hill, New York.

Mochtar N.E. (2012). Modul Ajar Metode Perbaikan Tanah. Surabaya: itspress.





# FORMULA CERUCUK (2015)

Variasi Cerucuk	Pivot	Plab / Pmax	Rata-rata Plab / Pmax	FORMULA REGRESI	REVISI FORMULA CERUCUK MOCHTAR (2000)
Variasi Rasio Tancap	Spasi 3D Ratio Tancap L/D 15	1.965	2.30	For $5 < X_t < 20$ $Y_t = 0.09(X_t) - 0.35$ (Koef = 0.8905) $X_t < 5 \rightarrow Y_t = 0,05 X_t$ $X_t > 20 \rightarrow Y_t = 1,45$	dimana : $Y_t$ = Ratio Plab L/D=15 dengan Plab L/D=15 $X_t$ = Ratio Tancap (L/D) $P_{\text{max}} (1 \text{ cerucuk}) = \frac{M_{p \text{ max}} (1 \text{ cerucuk})}{f_m \cdot T} \times F_{k_g}$
	Spasi 5D Ratio Tancap L/D 15	2.467			
	Spasi 8D Ratio Tancap L/D 15	1.756			
Variasi Spasi	Ratio Tancap L/D 5-Spasi 5D	0.422	2.30	$Y_s = -0.057(X_s)^2 + 0.614(X_s) - 0.658$	dimana : $Y_s$ = Ratio Plab S=5D dengan Plab S=5D $X_s$ = Spasi (S/D) dimana : Fkg merupakan faktor koreksi gabungan $F_{k_g} = 2.30 * Y_t * Y_s * Y_n * Y_D$
	Ratio Tancap L/D 10-Spasi 5D	2.216			
	Ratio Tancap L/D 15-Spasi 5D	2.467			
Variasi Jumlah (Sejajar)	Ratio Tancap L/D 20-Spasi 5D	4.336	2.30		dimana : $Y_n$ = Ratio Plab n=7 dengan Plab n=7 $X_n$ = Jumlah Cerucuk dimana : $Y_D$ = Ratio Plab D=3mm dengan Plab D=3mm $X_n$ = ratio D/T D=Diameter (cm) T=Faktor Kekakuan Relatif (cm) $T = \left( \frac{EI}{f} \right)^{\frac{1}{5}}$
	1 btg-Spasi 5D Ratio Tancap L/D 15	2.590		$Y_n = 1.051 - 0.047(X_n)$	
Variasi Diameter	3mm-1 btg-Spasi 5D Ratio Tancap L/D 15	2.467		For $0,1 \leq X_0 \leq 0,12$ $Y_0 = 46.616(X_0) - 3.582$ For $X_0 < 0,1$ $Y_0 = 1,0$ For $X_0 > 0,12$ $Y_0 = 2,0$	$M_{p \text{ max}}$ = momen lentur yang bekerja pada cerucuk akibat P (kg.cm). $f_m$ = koefisien momen akibat gaya lateral P. $D$ = diameter cerucuk. $T$ = Faktor kekakuan relatif (cm). $E$ = modulus elastisitas tiang (cerucuk), kg/cm <sup>2</sup> $I$ = momen inersia tiang (cerucuk), cm <sup>4</sup> $f$ = koefisien dari variasi modulus tanah, kg/cm <sup>3</sup>



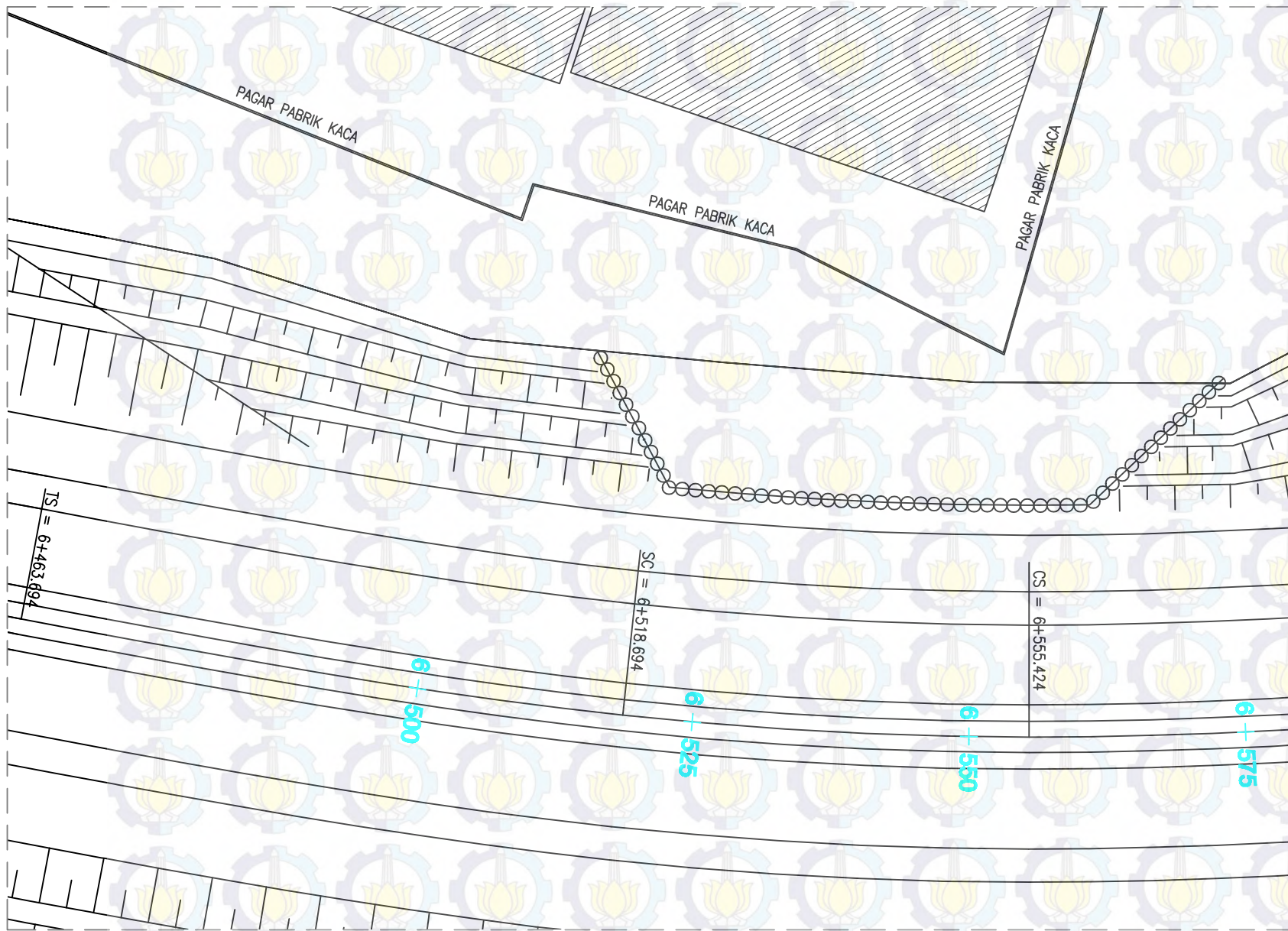
Bore No : B - 1  
Project : PABRIK KACA TOL PANDAAN - GEMPOL  
Location : STA. 0 + 550 KABUPATEN PASURUAN

Coordinates of GPS (UTM) X =  
Y =  
Diameter of Bore  
Diameter of Casing

0868222  
8157067

DEPTH (m)	BORE LOG	Standard Penetration Test (SPT) N / 30 cm	DESCRIPTION	COLOUR	S P T Value Depth sample (Blow / 30 cm)	Grain Size Analysis (%)				Physical Properties					Mechanical Properties					
						Gravel (%)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Water Content (%)	Dry Density ( $\text{rd}$ ) ( $\text{g/cm}^3$ )	Specific Gravity G <sub>s</sub>	Porosity n	Void Ratio e	Unconfined Test qu $\text{kN/cm}^2$	Direct Shear Test c $\text{kN/cm}^2$ $\phi$ (°)	Atterberg Test			
																	LL %	PL %	IP %	
0			Lanau Sirtu	Coklat		19.89	32.36	38.34	9.41	32.76	1.437	2.688	0.468	0.881	0.38	0.31	16	66.30	30.17	36.13
1																				
2		+10			3 + 2.00 = 5 m															
3																				
4		+31	Lanau, Pasir, Kerikil	Hitam	10 + 13.400 = 23 m	20.51	29.37	34.52	15.60	32.51	1.497	2.667	0.464	0.967	0.41	0.34	14	69.62	31.32	38.39
5																				
6		+18			4 + 6.00 = 10 m	16.83	26.33	44.54	12.30	35.36	1.396	2.654	0.484	0.939	0.33	0.38	12	74.25	34.19	40.15
7																				
8			Kerikil, Pasir, Lanau		12 + 40.800 = 52 m	40.36	34.63	25.01	0.00	34.64	1.468	2.715	0.485	0.941		0.25	22			NON PLASTIS
9																				
10			Lanau, Pasir, Kerikil		10 + 40.10.00 = 50 m	17.20	34.38	34.80	13.62	75.28	0.877	2.683	0.669	2.020	0.27	0.32	15	73.41	36.11	37.10
11																				
12																				
13				Coklat	27 + 35.12.00 = 62 m	11.78	36.14	40.32	11.76	76.83	0.893	2.662	0.572	2.045	0.29	0.36	13	75.41	37.38	39.13
14																				
15			Pasir, Lanau, Kerikil		35 + 60.14.00 = 95 m	36.73	35.13	28.14	0.00	36.05	1.430	2.702	0.493	0.974		0.27	20			NON PLASTIS
16																				
17					39 + 60.16.00 = 99 m	19.65	51.86	28.49	0.00	30.52	1.521	2.696	0.451	0.823		0.30	18			NON PLASTIS





PLAN  
SKALA 1:500

# KETERANGAN



JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN SOLDIER PILE UNTUK PERKUATAN LERENG  
JALAN TOL GEMPOL - PANDAN BTA 0+0+00 s.d 0+0+575

DOSEN PEMBIMBING

Ir. SUWARNO, M.Eng

Prof. Ir. INDRASURYA B MOCHTAR, MSc, PhD

DIGAMBAR

BENNY RENATO SIANIPAR

3113108043

NAMA GAMBAR

SOLDIER PILE TANPA GROUND ANCHOR

DIBETULUI

CATATAN

Stadia	No. Gambar	No. Lembar





JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR  
PERENCANAAN SOLDIER PILE UNTUK PERKUATAN LERENG  
JALAN TOL GEMPOL - PANDAN BATA 0+010 s.d 0+075

DOSEN PEMBIMBING  
Ir. SUWARNO, M.Eng  
Prof. Ir. INDRASURYA B MOCHTAR, MSc, PhD

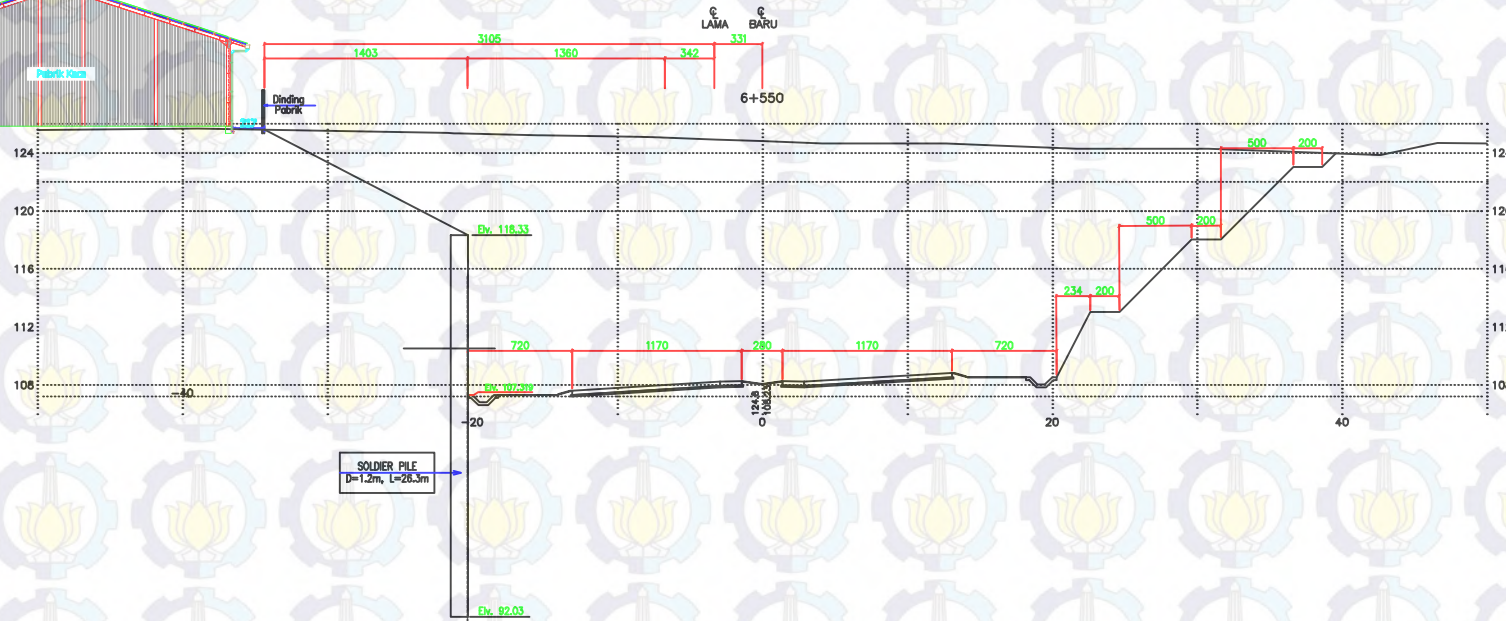
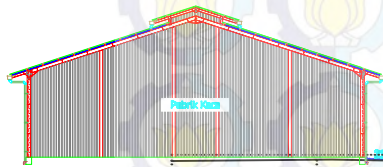
DIGAMBAR  
BENNY RENATO SIANIPAR  
3113108043

NAMA GAMBAR  
SOLDIER PILE TANPA GROUND ANCHOR

DIBETULUI

CATATAN

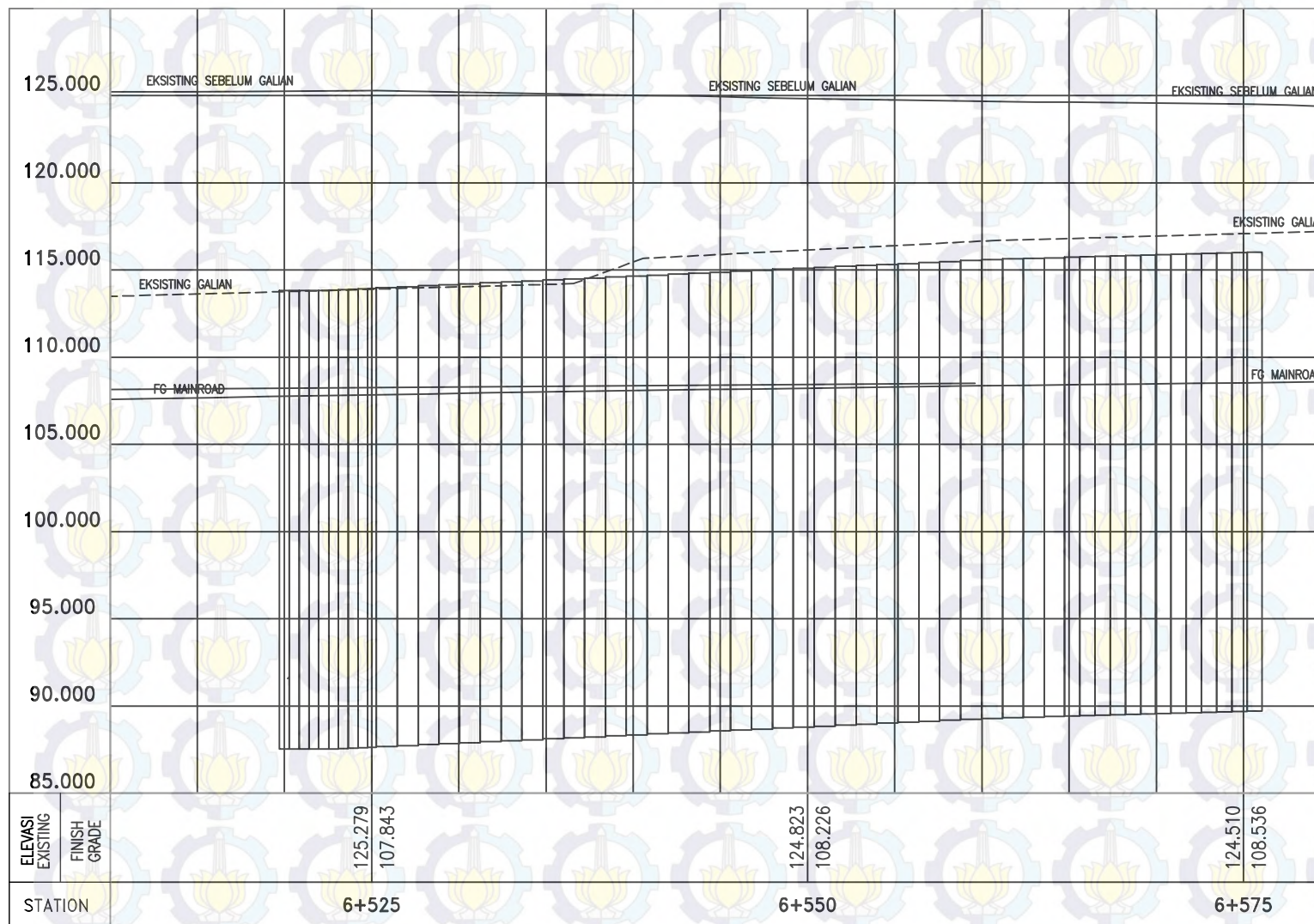
Skala	No. Gambar	No. Lembar



Datum 88.000		4		3		2		1		0	
RD		125.000		125.000		125.000		125.000		125.000	
Elevasi		400		1000		1000		1000		1000	
Jarak Datar		1000		1000		1000		1000		1000	
Jarak Kemiringan		1000		1000		1000		1000		1000	

POTONGAN MELINTANG  
SKALA 1:500

CATATAN :  
1. SEMUA UKURAN DALAM CENTIMETER KECUALI ELEVASI DALAM METER  
ATAU JIKA DISEBUTKAN LAIN



PROFIL MEMANJANG

CATATAN :  
1. SEMUA UKURAN DALAM METER  
2. ELEVASI TOP BORED PILE

KETERANGAN



JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN SOLDIER PILE UNTUK PERKUATAN LERENG  
JALAN TOL GEMPOL - PANDAN BTA 0+0+00 s.d 0+575

DOSEN PEMBIMBING

Ir. SUWARNO, M.Eng  
Prof. Ir. INDRASURYA B MOCHTAR, MSc.PHD

DIGAMBAR

BENNY RENATO SIANIPAR  
3113108043

NAMA GAMBAR

SOLDIER PILE TANPA GROUND ANCHOR

DIBETULUI

CATATAN

Skala	No. Gambar	No. Lembar





PLAN  
SKALA 1:500

# KETERANGAN



JURUSAN TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN SOLDIER PILE UNTUK PERKUATAN LERENG  
JALAN TOL GEMPOL - PANDEAN STA. 6+518 and 6+575

DOSEN PEMBIMBING

Ir. SUWARNO, M. ENG

Prof. Ir. INDRASURYA B MOCHTAR, MSc, PhD

DIGAMBAR

BENNY RENATO SIANIPAR

3113108043

NAMA GAMBAR

SOLDIER PILE DENGAN GROUND ANCHOR


DIBETULI

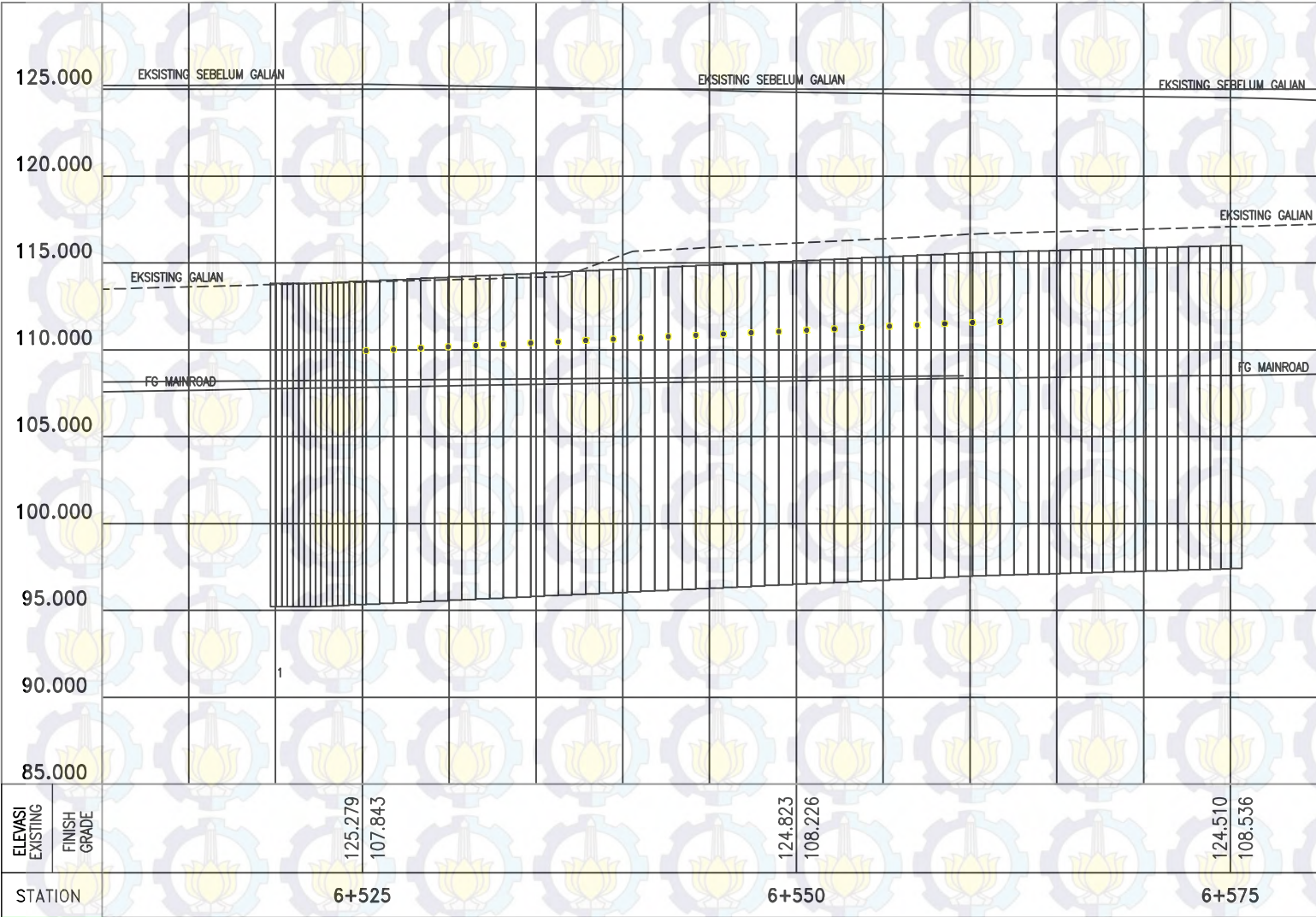
CATATAN

Skala No. Gambar No. Lembar





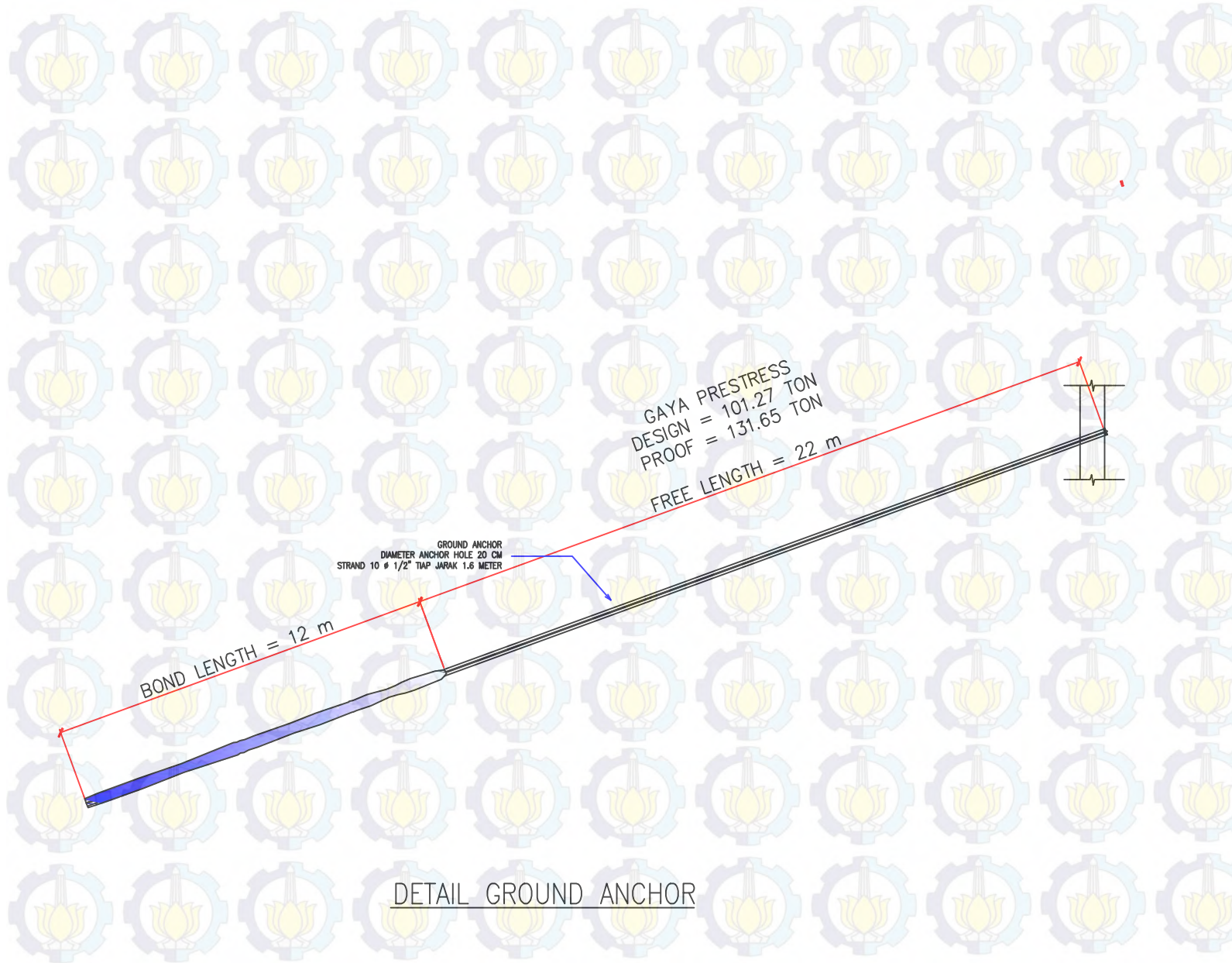
KETERANGAN		
		
JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA		
JUDUL TUGAS AKHIR		
PERENCANAAN SOLDIER PILE UNTUK PERKUATAN LERENG JALAN TOL GEMPOL - PANDAN SITIA 0+518 and 0+575		
DOSEN PEMBIMBING		
Ir. SUWARNO, M. ENG Prof. Ir. INDRASURYA B MOCHTAR, MSc, PhD		
DIGAMBAR		
BENNY RENATO SIANIPAR 3113108043		
NAMA GAMBAR		
SOLDIER PILE DENGAN GROUND ANCHOR		
DIBETULUI		
CATATAN		
Skala	No. Gambar	No. Lembar



PROFIL MEMANJANG

CATATAN :  
 1. SEMUA UKURAN DALAM METER  
 2. ELEVASI TOP BORED PILE





KETERANGAN



JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN SOLDIER PILE UNTUK PERKUATAN LERENG  
JALAN TOL GEMPOL - PANDAN SITIA 0+518 s.d 0+676

DOSEN PEMBIMBING

Ir. SUWARNO, M. ENG  
Prof. Ir. INDRASURYA B MOCHTAR, MSc, PhD

DIGAMBAR

BENNY RENATO SIANIPAR  
3113108043

NAMA GAMBAR

SOLDIER PILE DENGAN GROUND ANCHOR

DIBETULUI

CATATAN

Skala No. Gambar No. Lembar



## BIODATA PENULIS



### **Benny Renato Sianipar**

Lahir di P. Siantar, Sumatera Utara pada tanggal 26 September 1992, merupakan anak ke 2 dari 4 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SD St. Antonius V Medan, SLTP Santa Maria Medan, dan SMA Negeri 5 Medan. Kemudian penulis melanjutkan studinya di D3 Teknik Sipil Politeknik Negeri Medan dan lulus pada tahun 2013. Selanjutnya pada tahun 2014 penulis melanjutkan pendidikan sarjananya di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Jurusan Teknik Sipil (FTSP-ITS) Surabaya melalui Program Lintas Jalur dan terdaftar dengan NRP 3113106043.

Di Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS Surabaya, penulis adalah Mahasiswa Program Sarjana (S1) dengan bidang Studi Geoteknik dan judul tugas akhir **“Perencanaan *Soldier Pile* untuk Perkuatan Lereng Jalan Tol Gempol – Pandaan sta. 6+518 s/d 6+575”**. Bagi pembaca yang ingin berdiskusi, memberikan kritik dan saran dapat berkorespondensi melalui email [bennyrenatosianipar@gmail.com](mailto:bennyrenatosianipar@gmail.com).